

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2016/2017

VARIABILIDADE ESPACIAL DO FLUXO DE DEPOSIÇÃO DA MATÉRIA PARTICULADA NO CAMPUS DA ASPRELA

MARIA INÊS TAVARES DA SILVA GONÇALVES

Dissertação submetida para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Presidente do Júri: Professora Doutora Cidália Maria de Sousa Botelho
(Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de
Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador académico: Professora Doutora Maria de Lurdes Proença de Amorim Dinis
(Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia de Minas da Faculdade de
Engenharia da Universidade do Porto)

Co-orientador académico: Professor Doutor António Manuel Antunes Fiúza
(Professor Catedrático do Departamento de Engenharia de Minas da Faculdade de
Engenharia da Universidade do Porto)

junho, 2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2016/2017

Telefone: +351 22 508 1673

Correio Eletrónico: catc@fe.up.pt

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

Telefone: +351 22 041 3163

Correio Eletrónico: minas@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Telefone: +351 22 508 14 00

Correio Eletrónico: feup@fe.up.pt

Fax: +351 22 508 14 40

URL: <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente – 2016/2017 - Departamento de Engenharia de Minas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

RESUMO

Com a presente dissertação procurou-se fazer uma avaliação e caracterização da qualidade do ar no campus universitário da Asprela, localizado na freguesia de Paranhos no concelho do Porto. O principal objetivo do estudo foi analisar a variabilidade espacial do fluxo de deposição neste local, identificando as zonas onde foi depositada uma maior quantidade de partículas, relacionando essa deposição, não só com as variáveis climatológicas, como também com as possíveis fontes emissoras envolventes.

O método de recolha das partículas depositadas baseou-se na norma francesa, NF X 43-007, bem como os trabalhos laboratoriais realizados, para a obtenção do fluxo de deposição. O estudo de amostragem decorreu no período compreendido entre abril de 2015 e fevereiro de 2016, tendo sido realizadas 7 campanhas de amostragem.

Após obtenção e tratamento dos dados, foram utilizadas várias técnicas da estatística clássica e da geoestatística, com o objetivo de analisar os dados do fluxo de deposição e os dados referentes às variáveis climatológicas como, por exemplo, a estatística exploratória de dados, a análise variográfica e a krigagem ordinária. Com base nesta informação, construí-se os modelos de dispersão espacial do fluxo de deposição para cada campanha de amostragem, obtendo-se assim uma superfície contínua com curvas que representam os valores da massa de partículas depositada. Foi também utilizada a identificação elementar por microscopia eletrónica de varrimento, nas 2ª e 3ª campanha de amostragem, realizada no Centro de Materiais da Universidade do Porto (CEMUP).

Este trabalho permitiu verificar que as campanhas que decorreram em períodos quentes e secos, 2ª e 3ª campanha, foram aquelas em que se obteve maior quantidade de partículas depositadas com valores de fluxo de deposição de $2,04 \text{ g/m}^2/\text{mês}$ e $1,72 \text{ g/m}^2/\text{mês}$, respetivamente. Em oposição, a menor deposição de partículas, registou-se na 6ª e na 7ª campanha com valores de fluxo de $0,23 \text{ g/m}^2/\text{mês}$ e $0,24 \text{ g/m}^2/\text{mês}$, respetivamente. Estes valores podem ser justificados pela ocorrência de períodos de chuva contínua e intensa no decurso destas campanhas.

Após a construção dos mapas de contorno, verificou-se que o ponto de amostragem onde foi observado uma recorrente deposição elevada de partículas, refere-se à placa localizada na Cafeteria da FEUP. Este resultado pode ser justificado pelo tráfego rodoviário e pela presença de chaminés no local. Com a análise dos modelos de dispersão espacial foi possível, também, concluir que não existe correlação espacial da variável em estudo no sentido longitudinal.

Por fim, na identificação elementar feita por microscopia eletrónica de varrimento, efetuada para amostras da 2ª e 3ª campanha, verificou-se uma repetição de elementos nas partículas das amostras analisadas, permitindo, assim, suspeitar que em certas amostras as partículas atmosféricas poderão ter origem nas mesmas fontes emissoras.

Palavras-Chave: matéria particulada, qualidade do ar, fluxo de deposição, campus da Asprela, geoestatística, análise variográfica, krigagem ordinária, variáveis climatológicas, identificação elementar, microscopia eletrónica de varrimento.

ABSTRACT

With this dissertation, it was intended to develop an evaluation and characterization of the air quality in the Asprela university campus, located in the parish of Paranhos in the municipality of Porto. The main objective of this study was to analyze the spatial variability of the deposition flux of particulate matter at this site, identifying the areas where a larger amount of particles was deposited, relating this deposition, not only with the climatological variables, but also with the possible surrounding emitting sources.

The method of collecting the deposited particles was based on the French standard, NF X 43-007, as well as the laboratory work done to obtain the deposition flux. The sampling work took place in the period between April 2015 and February 2016 where 7 sampling campaigns were carried out.

After obtaining and processing the data, several techniques of classical statistics and geostatistics were used such as exploratory data statistics, the variographic analysis and ordinary kriging, with the objective of analyzing the data of the deposition flux and the data referring to the climatological variables. Based on this information, the spatial dispersion models of the deposition flux were developed for each sampling campaign, thus obtaining isocontour maps of the mass values for the deposited particulate matter. Elemental identification by scanning electron microscopy was also used in the 2nd and 3rd sampling campaigns, at the Materials Center of the University of Porto (CEMUP).

The obtained results show that the campaigns that took place during hot and dry periods, 2nd and 3rd ones, were those in which a larger amount of deposited particles were obtained with deposition flux values of 2.04 g/m²/month and 1.72 g/m²/month, respectively. In contrast, the lowest particle deposition was recorded in the 6th and 7th campaigns with flux values of 0.23 g/m²/month and 0.24 g/m²/month, respectively. These values can be justified by the occurrence of periods of continuous and intense rain during these campaigns.

After the construction of the contour maps, it was verified that one of the sampling points where a recurrent high deposition of particles was observed, refers to the deposition plate located in the FEUP Coffee Shop. This result can be justified by road traffic and the presence of chimneys on site. With the analysis of spatial dispersion models it was also possible to conclude that there is no spatial correlation variable under study in the longitudinal direction.

Finally, in the element identification made by scanning electron microscopy, carried out for samples of the 2nd and 3rd campaigns, a repetition of elements in the particles of the analyzed samples was verified, thus allowing to suspect that in some samples the atmospheric particles could be originated by the same emitting sources.

Key words: particulate matter, air quality, deposition flux, Asprela university campus, geostatistics, variography analysis, ordinary kriging, climatological variables, elemental identification, scanning electronic microscopy.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer à minha orientadora, Professora Lurdes, por tudo o que fez por mim nestes últimos dois anos. Por me ter ajudado quando precisei, pela paciência e compreensão que sempre teve quando necessitei, por todas as soluções que me deu quando não as conseguia ver, principalmente por nunca ter desistido de mim. Muito obrigada pela sua amizade, tudo isto devo-lhe a si.

Aos Professores António Fiúza e Joaquim Góis, por todos os conhecimentos que me forneceram nesta dissertação. Obrigada pela ajuda tão importante e por toda a disponibilidade.

À Doutora Cristina Ribeiro, por me ter facultado as sessões de microscopia eletrónica de varrimento no CEMUP. Obrigada pela contribuição que tanto ajudou neste estudo.

À minha família, pais, irmãos e avô. Por me ensinarem, todos os dias, o significado de apoio e amor incondicional. Muito obrigada.

Ao João, por estar sempre tão perto de mim mesmo estando tão longe. Obrigada por me pores sempre em primeiro lugar, por cuidares tão bem de mim.

À minha amiga Filó, o melhor que a FEUP me deu. Obrigada por todas as vezes que vieste em meu auxílio, obrigada por estares sempre disponível para mim.

Às minhas amigas Cristina e Raquel, que me apoiaram em todo este processo, como em todas as etapas da minha vida. Obrigada por me terem ajudado a reerguer de todas as vezes que caí.

Por último, quero agradecer à minha avó, que tinha como seu maior desejo ver-me chegar até aqui. Obrigada avó pela tua presença constante, mesmo não estando presente, e pela força e proteção que me dás todos os dias.

À minha avó Eulália.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1.2. OBJETIVOS	1
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	2
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. ATMOSFERA E A SUA CONSTITUIÇÃO.....	5
2.2. POLUENTES ATMOSFÉRICOS: FONTES, CONTROLO E EFEITOS NOS SERES-VIVOS E NO AMBIENTE	7
2.2.1. DIÓXIDO DE AZOTO (NO ₂)	8
2.2.2. DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO ₂)	8
2.2.3. MONÓXIDO DE CARBONO (CO).....	8
2.2.4. OZONO (O ₃)	9
2.2.5. PARTÍCULAS ATMOSFÉRICAS (PM)	9
2.2.5.1. TAMANHO DAS PARTÍCULAS	9
2.2.5.2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS PARTÍCULAS	11
2.2.5.3. FONTES DAS PARTÍCULAS	12
2.2.5.4. DANOS NA SAÚDE PROVOCADOS PELAS PARTÍCULAS.....	13
2.3. IMPACTOS GLOBAIS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	14
2.3.1. ACIDIFICAÇÃO	14
2.3.2. DEPLEÇÃO DO OZONO ESTRATOSFÉRICO	14
2.3.3. GASES COM EFEITO DE ESTUFA E ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS	15
2.3.4. DANOS AMBIENTAIS PROVOCADOS PELAS PARTÍCULAS ATMOSFÉRICAS.....	16
2.4. DISPERSÃO DOS POLUENTES	16
2.4.1. TRANSPORTE DE PARTÍCULAS COM ORIGEM NOS DESERTOS DO NORTE DE ÁFRICA	18
2.5. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO	18
2.5.1. LEGISLAÇÃO RELATIVA À QUALIDADE DO AR	18
2.5.2. LEGISLAÇÃO RELATIVA ÀS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	19
2.5.3. LEGISLAÇÃO RELATIVA ÀS PARTÍCULAS INALADAS	19
2.5.4. ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR	20
CAPÍTULO 3 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	21
3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO E DENSIDADE POPULACIONAL	21
3.2. POPULAÇÃO UTILIZADORA E POPULAÇÃO PERMANENTE.....	22
3.3. MOBILIDADE.....	24
3.4. O CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA ASPRELA	24
CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA PARA OBTENÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS	29
4.1. DEFINIÇÃO DA ÁREA E PONTOS DE AMOSTRAGEM	29

4.2. IDENTIFICAÇÃO DAS POTENCIAIS FONTES EMISSORAS NA ÁREA EM ESTUDO	30
4.2.1. FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO - FEUP	31
4.2.2. FACULDADE DE ECONOMIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO - FEP	31
4.2.3. CREMATÓRIO DE PARANHOS	32
4.2.4. FACULDADE DE DESPORTO DA UNIVERSIDADE DO PORTO - FADEUP.....	32
4.2.5. IPATIMUP	33
4.2.6. ESCOLA SUPERIOR DE EDUCAÇÃO DO INSTITUTO POLITÉCNICO DO PORTO - ESE.....	33
4.2.7. HOSPITAL DE SÃO JOÃO E FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DO PORTO - FMUP	34
4.2.8. ESCOLA SUPERIOR DE ENFERMAGEM - ESEP.....	34
4.2.9. INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO - ISEP.....	34
4.2.10. FACULDADE DE MEDICINA DENTÁRIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO- FMDUP.....	35
4.3. DESCRIÇÃO DAS CAMPANHAS DE AMOSTRAGEM	35
4.4. PROCEDIMENTO LABORATORIAL PARA A DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE DEPOSIÇÃO	38
4.5. METODOLOGIA DE ANÁLISE E IDENTIFICAÇÃO ELEMENTAR	38
4.5.1. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	38
4.5.2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	40
4.6. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS OBTIDOS.....	40
4.6.1. ESTATÍSTICA DESCRITIVA.....	41
4.6.2. GEOESTATÍSTICA	41
4.6.3. VARIOGRAFIA	42
4.6.4. KRIGAGEM ORDINÁRIA	43
4.6.5. <i>SOFTWARES</i> USADOS – SURFER 8 E WRPLOT VIEW.....	45
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1. FLUXO DE DEPOSIÇÃO DE MATÉRIA PARTICULADA	47
5.2. VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS	49
5.2.1. INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA.....	49
5.2.2. DADOS METEOROLÓGICOS DA 1ª CAMPANHA.....	49
5.2.3. DADOS METEOROLÓGICOS DA 2ª CAMPANHA	51
5.2.4. DADOS METEOROLÓGICOS DA 3ª CAMPANHA	52
5.2.5. DADOS METEOROLÓGICOS DA 4ª CAMPANHA	54
5.2.6. DADOS METEOROLÓGICOS DA 5ª CAMPANHA	55
5.2.7. DADOS METEOROLÓGICOS DA 6ª CAMPANHA	57
5.2.8. DADOS METEOROLÓGICOS DA 7ª CAMPANHA	58
5.3. ESTATÍSTICAS EXPLORATÓRIAS	60
5.4. MODELOS DE DISPERSÃO ESPACIAL.....	62

5.4.1. MODELOS DE DISPERSÃO ESPACIAL – 2ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM.....	62
5.4.2. MODELOS DE DISPERSÃO ESPACIAL – 3ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM.....	64
5.4.3. MODELOS DE DISPERSÃO ESPACIAL – 4ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM.....	66
5.4.4. MODELOS DE DISPERSÃO ESPACIAL – 5ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM.....	68
5.4.5. MODELOS DE DISPERSÃO ESPACIAL – 6ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM.....	69
5.4.7. MODELOS DE DISPERSÃO ESPACIAL – 7ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM	71
5.5. IDENTIFICAÇÃO ELEMENTAR POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARRIMENTO	73
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	89
6.1. PERSPETIVAS FUTURAS.....	91
REFERÊNCIAS.....	93
ANEXOS	97

LISTA DE ABREVIATURAS

AEFEP – Associação de Estudantes da Faculdade de Economia da Universidade do Porto

AEFEUP – Associação de Estudantes da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

AEFMUP – Associação de Estudantes da Faculdade de Medicina da Universidade do Porto

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

BBSA – *British Stainless Steel Association*

CE – Comissão Europeia

CEMUP – Centro de Materiais da Universidade do Porto

CFC – Clorofluorocarboneto

CMP – Câmara Municipal do Porto

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

DPOC – Doença Pulmonar Obstrutiva Crónica

EDS – *Energy-dispersive X-ray spectroscopy*

EEA – Agência Europeia do Ambiente

ER – Eletrões Retrodifundidos

ES – Eletrões Secundários

ESE – Escola Superior de Educação do Porto do Instituto Politécnico do Porto

ESEM – *Environmental Scanning Electron Microscope*

ESEP – Escola Superior de Enfermagem do Porto

FADEUP – Faculdade de Desporto da Universidade do Porto

FCNAUP – Faculdade de Ciências da Nutrição e Alimentação da Universidade do Porto

FEP – Faculdade de Economia da Universidade do Porto

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

FMDUP – Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto

FMUP – Faculdade de Medicina da Universidade do Porto

FPCEUP – Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da Universidade do Porto

HBFC – Hidrobromofluorocarboneto

HCFC – Hidroclorofluorocarboneto

HSJ – Hospital de São João

i3S – Instituto de Investigação e Inovação em Saúde da Universidade do Porto

IEM – Indicador de Exposição Média

IMICROS – Unidade de Imagem, Microestrutura e Microanálise (CEMUP)

INE – Instituto Nacional de Estatística

INEGI – Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial da Universidade do Porto

INESC - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores da Universidade do Porto

IPATIMUP – Instituto de Patologia e Imunologia Molecular da Universidade do Porto

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

IPO – Instituto Português de Oncologia

IQar – Índice de Qualidade do Ar

ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto do Instituto Politécnico do Porto

MEV – Microscopia Eletrónica de Varrimento

NF – *Norme Française*

OMS – Organização Mundial da Saúde

PM – *Particulate Matter*

QualAr – Qualidade do Ar (Agência Portuguesa do Ambiente)

SEM – *Scanning Electron microscope*

SEPA – Scottish Environment Protection Agency

SPM – *Suspended Particulate Matter*

TSP – *Total Suspended Particles*

UPTEC – Parque de Ciência e Tecnologia da Universidade do Porto

UV – Radiação Ultravioleta

VCI – Via de Cintura Interna

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estratificação da Atmosfera (Fonte: Spellman, 2010).....	6
Figura 2: Fontes dos Poluentes Atmosféricos (Fonte: Pereira, 2015).....	7
Figura 3: Classificação de partículas em relação ao diâmetro aerodinâmico (Fonte: Ferraz, 2005).....	11
Figura 4: Composição química geral das partículas (Fonte: Slezáková, 2009).....	12
Figura 5: Categorização das partículas segundo os tamanhos e as suas fontes (Fonte: Henriques, 2012).....	13
Figura 6: Efeitos da Acidificação nas Florestas (Fonte: Henriques, 2012).....	14
Figura 7: Concentração do Ozono ao longo das camadas atmosféricas (Fonte: Henriques, 2016).....	15
Figura 8: Emissões dos Gases de Estufa por setor (Pereira, 2015).....	15
Figura 9: Situação normal de dispersão dos poluentes atmosféricos (Fonte: QualAr, 2016).....	17
Figura 10: Situação “anormal” de dispersão dos poluentes atmosféricos (Fonte: QualAr, 2016).....	17
Figura 11: Evolução da população residente no Porto (Fonte: INE, 2011).....	21
Figura 12: Densidade Populacional no Porto (Fonte: INE, 2011).....	21
Figura 13: População Residente por local de residência-Paranhos (Fonte: INE, 2011).....	22
Figura 14: População presente (N. º) por Local de Residência (Fonte: Censos, 2011).....	23
Figura 15: Evolução do número de alojamentos familiares clássicos no Porto (Fonte: INE, 2011).....	23
Figura 16: Alojamentos (N. º) por Localização Geográfica: Decenal (Fonte: Censos, 2011).....	24
Figura 17: Evolução da distribuição da população residente no Porto, por local de trabalho (Fonte: Censos, 2011).....	24
Figura 18: Evolução da população que estuda no Porto, por local de residência (Fonte: Censos, 2011).....	24
Figura 19: O Campus da Asprela da Universidade do Porto (Fonte: Google Earth, 2017).....	25
Figura 20: Limites iniciais da Cidade Universitária do Porto (Fonte: Folha, 2012).....	26
Figura 21: PDM da Zona da Asprela (Fonte: CMP, 2017).....	27
Figura 22: Área de amostragem e localização dos pontos escolhidos (Fonte: Google Earth, 2017).....	29
Figura 23: Exemplo de identificação das placas.....	35
Figura 24: Armazenamento das placas nas embalagens herméticas.....	35
Figura 25: Equipamento laboratorial utilizado para a filtragem das amostras.....	38
Figura 26: Tipos de radiação emitida por uma amostra quando submetida a um feixe de eletrões (Fonte: Monteiro, 2005).....	39
Figura 27: Microscópio Eletrónico de Varrimento ambiental de alta resolução-Schottky (Fonte: CEMUP, 2017).....	40
Figura 28: Semivariograma experimental (Fonte: Guimarães, 2009).....	43
Figura 29: Estação meteorológica de Ermesinde (SNIRH, 2017).....	49
Figura 30: Histograma da variável temperatura média referente ao período da 1ª campanha de amostragem.....	50
Figura 31: Histograma da variável precipitação média referente ao período da 1ª campanha de amostragem.....	50

Figura 32: Histograma da variável da velocidade do vento referente ao período da 1ª campanha de amostragem.....	50
Figura 33: Representação circular dos registos da direção e velocidade do vento média referente ao período da 1ª campanha de amostragem (WRPLOT, 2017).....	50
Figura 34: Histograma da variável temperatura média referente ao período da 2ª campanha de amostragem.....	51
Figura 35: Histograma da variável precipitação média referente ao período da 2ª campanha de amostragem.....	51
Figura 36: Histograma da variável velocidade do vento média referente ao período da 2ª campanha de amostragem	51
Figura 37: Representação circular dos registos da direção e velocidade do vento média referente ao período da 2ª campanha de amostragem.....	52
Figura 38: Histograma da variável temperatura média referente ao período da 3ª campanha de amostragem.....	53
Figura 39: Histograma da variável velocidade do vento referente ao período da 3ª campanha de amostragem.....	53
Figura 40: Representação circular dos registos da direção e velocidade do vento referente ao período da 3ª campanha de amostragem.....	53
Figura 41: Histograma da variável temperatura média referente ao período da 4ª campanha de amostragem.....	54
Figura 42: Histograma da variável precipitação referente ao período da 4ª campanha de amostragem.....	54
Figura 43: Histograma da variável velocidade do vento referente ao período da 4ª campanha de amostragem.....	54
Figura 44: Representação circular dos registos da direção e da velocidade do vento referente ao período da 4ª campanha.....	55
Figura 45: Histograma da variável temperatura média referente ao período da 5ª campanha de amostragem.....	56
Figura 46: Histograma da variável precipitação referente ao período da 5ª campanha de amostragem.....	56
Figura 47: Histograma da variável velocidade do vento referente ao período da 5ª campanha de amostragem.....	56
Figura 48: Representação circular dos registos da direção e velocidade do vento referente ao período da 5ª campanha de amostragem.....	56
Figura 49: Histograma da variável temperatura média referente ao período da 6ª campanha de amostragem.....	57
Figura 50: Histograma da variável precipitação referente ao período da 6ª campanha de amostragem.....	57
Figura 51: Histograma da variável velocidade do vento referente ao período da 6ª campanha de amostragem.....	57
Figura 52: Representação circular dos registos da direção e velocidade do vento referente ao período da 6ª campanha de amostragem.....	58
Figura 53: Histograma da variável temperatura média referente ao período da 7ª campanha de amostragem.....	59
Figura 54: Histograma da variável precipitação referente ao período da 7ª campanha de amostragem.....	59
Figura 55: Histograma da variável velocidade do vento referente ao período da 7ª campanha de amostragem.....	59
Figura 56: Representação circular dos registos da direção e velocidade do vento referente ao período da 7ª campanha de amostragem.....	59
Figura 57: Fluxo médio de deposição por campanha de amostragem.....	61
Figura 58: Variograma experimental e ajuste do modelo teórico referente à 2ª campanha de amostragem.....	62

Figura 59: Fluxo de deposição referente à 2ª campanha de amostragem.....	63
Figura 60: Variograma experimental e ajuste do modelo teórico referente à 3ª campanha de amostragem.....	64
Figura 61: Fluxo de deposição referente à 3ª campanha de amostragem.....	65
Figura 62: Variograma experimental e ajuste do modelo teórico referente à 4ª campanha de amostragem.....	66
Figura 63: Fluxo de deposição referente à 4ª campanha de amostragem.....	67
Figura 64: Variograma experimental e ajuste do modelo teórico referente à 5ª campanha de amostragem.....	68
Figura 65: Fluxo de deposição referente à 5ª campanha de amostragem.....	68
Figura 66: Variograma experimental e ajuste do modelo teórico referente à 6ª campanha de amostragem.....	70
Figura 67: Fluxo de deposição referente à 6ª campanha de amostragem.....	70
Figura 68: Variograma experimental e ajuste do modelo teórico referente à 7ª campanha de amostragem.....	71
Figura 69: Fluxo de deposição referente à 7ª campanha de amostragem.....	71
Figura 70: Exemplo de uma parte da amostra selecionada para identificação elementar.....	74
Figura 71: Partícula de cobre na amostra 24.....	75
Figura 72: Partícula de cobre na amostra 23.....	75
Figura 73: Partícula de titânio na amostra 21.....	76
Figura 74: Partícula de titânio na amostra 5.....	76
Figura 75: Partícula de silício na amostra 25 (Z1).....	76
Figura 76: Partícula de silício na amostra 17.....	76
Figura 77: Amostra 32 com várias partículas de aço.....	77
Figura 78: Partícula de aço na amostra 24.....	77
Figura 79: Partícula de aço na amostra 27.....	77
Figura 80: Monazite na amostra 4 na 2ª campanha.....	78
Figura 81: Monazite na amostra 5 na 2ª campanha.....	78
Figura 82: Monazite na amostra 24 na 3ª campanha.....	78
Figura 83: Monazite na amostra 27 na 3ª campanha.....	78
Figura 84: Partícula com carbonato de cálcio na amostra 22.....	79
Figura 85: Pirite (Z6) na amostra 36.....	79
Figura 86: Zircão na amostra 2.....	80
Figura 87: Zircão na amostra 5.....	80
Figura 88: Partícula de quartzo na amostra 32 (Z2).....	80

Figura 89: Sulfato de estrôncio na amostra 9.....	81
Figura 90: Partícula de crômio na amostra 28.....	81
Figura 91: Partícula com estanho na amostra 5.....	82
Figura 92: Partícula com estanho na amostra 24 (Z9).....	82
Figura 93: Partícula com fosfato de ítrio na amostra 11.....	82
Figura 94: Partícula com fosfato de ítrio na amostra 1 (Z3).....	82
Figura 95: Óxido férrico na amostra 4.....	83
Figura 96: Óxido férrico na amostra 17.....	83
Figura 97: Apatite (Z6) na amostra 3.....	83
Figura 98: Aluminosilicato na amostra 22.....	84
Figura 99: Aluminosilicato na amostra 35.....	84
Figura 100: Biotite (Z1) na amostra 8.....	84
Figura 101: Partícula de latão na amostra 6.....	85
Figura 102: Partícula de latão na amostra 5.....	85
Figura 103: Partícula com óxido de zinco na amostra 31.....	85
Figura 104: Partícula com pirolusite na amostra 24.....	86
Figura 105: Sulfato de bário (Z4) na amostra 13 da 2ª campanha de amostragem.	86
Figura 106: Partícula de sulfato de bário na amostra 7 da 2ª campanha.....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Volume Percentual dos Gases Residuais existentes no Ar Seco Atmosférico (Fonte: Manahan, 2000).....	5
Tabela 2: Classificação dos Índices da Qualidade do ar (Fonte: QualAr, 2016).....	20
Tabela 3: Residentes noutros concelhos que estudam ou trabalham no Porto (Fonte: INE, 2011).....	22
Tabela 4: Evolução do número de alojamentos familiares clássicos e de edifícios no Porto (Fonte: INE, 2011).....	23
Tabela 5: Coordenadas Geográficas e Militares dos Pontos de Amostragem (Fonte: IgeoE, 2015).....	30
Tabela 6: Fontes emissoras de partículas por ponto de amostragem na FEUP.....	31
Tabela 7: Fontes emissoras de partículas por ponto de amostragem na FEP.....	31
Tabela 8: Fontes emissoras de partículas por ponto de amostragem no Crematório de Paranhos.....	32
Tabela 9: Fontes emissoras de partículas por ponto de amostragem na FADEUP.....	32
Tabela 10: Fontes emissoras de partículas por ponto de amostragem no IPATIMUP.....	32
Tabela 11: Fontes emissoras de partículas por ponto de amostragem na ESE/IPP.....	33
Tabela 12: Fontes emissoras de partículas por ponto de amostragem no Hospital de São João/FMUP.....	33
Tabela 13: Fontes emissoras de partículas por ponto de amostragem na ESEP.....	34
Tabela 14: Fontes emissoras de partículas por ponto de amostragem no ISEP.....	34
Tabela 15: Fontes emissoras de partículas por ponto de amostragem na FMDUP.....	35
Tabela 16: Parâmetros temporais das campanhas de amostragem.....	37
Tabela 17: Cálculo do fluxo de deposição da matéria particulada durante as 7 campanhas de amostragem.....	48
Tabela 18: Descrição dos pontos de monitorização das estações meteorológicas selecionadas (SNIRH, 2017).....	49
Tabela 19: Estatísticos exploratórios para os registos das variáveis climatológicas - 1ª campanha de amostragem.....	49
Tabela 20: Estatísticos exploratórios para os registos das variáveis climatológicas - 2ª campanha de amostragem.....	51
Tabela 21: Estatísticos exploratórios para os registos das variáveis climatológicas - 3ª campanha de amostragem.....	53
Tabela 22: Estatísticos exploratórios para os registos das variáveis climatológicas - 4ª campanha de amostragem.....	54
Tabela 23: Estatísticos exploratórios para os registos das variáveis climatológicas - 5ª campanha de amostragem.....	55

Tabela 24: Estatísticos exploratórios para os registos das variáveis climatológicas - 6ª campanha de amostragem.....	57
Tabela 25: Estatísticos exploratórios para os registos das variáveis climatológicas - 7ª campanha de amostragem.....	58
Tabela 26: Dados estatísticos exploratórios para o fluxo de deposição.....	61
Tabela 27: Interpretação e identificação dos pontos/zonas da figura referente à 2ª campanha.....	64
Tabela 28: Interpretação e identificação dos pontos/zonas da figura referente à 3ª campanha.....	66
Tabela 29: Interpretação e identificação dos pontos/zonas da figura referente à 4ª campanha.....	68
Tabela 30: Interpretação e identificação dos pontos/zonas da figura referente à 5ª campanha.....	69
Tabela 31: Interpretação e identificação dos pontos/zonas da figura referente à 6ª campanha.....	71
Tabela 32: Interpretação e identificação dos pontos/zonas da figura referente à 7ª campanha.....	72
Tabela 33: Frequência dos pontos de amostragem com fluxo de deposição elevado.....	73
Tabela 34: Identificação das amostras analisadas no CEMUP.....	74
Tabela 35: Resumo da análise das amostras identificadas por microscopia eletrónica de varrimento segundo as campanhas de amostragem.....	87

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

As partículas atmosféricas podem ser poluentes primários e secundários e encontrarem-se no estado sólido ou líquido. Provêm de um número variado de fontes, que podem ser naturais e antropogénicas. As fontes naturais incluem as poeiras vindas do solo e dos vulcões, *sprays* da água do mar, areia e poeiras das tempestades de vento, pólenes, esporos, bactérias, fibras de plantas, etc. As partículas provenientes de fontes antropogénicas resultam das cinzas, do fumo do tabaco, da fuligem e de outras partículas produzidas principalmente pela combustão de carvão e fuel-óleo na indústria e nos automóveis. Segundo a *Environmental Energy Agency*, as partículas vindas do tráfego rodoviário são as mais preocupantes e a redução destas emissões, especialmente de PM_{2,5}, são fundamentais para a proteção da saúde pública.

Esta perigosidade para a saúde humana faz com que seja essencial o estudo das suas características num dado local, uma vez que o tamanho das partículas é um dos parâmetros que mais influência nos danos para a saúde humana. As PM inferiores a 10 µm são mais agressivas ao sistema respiratório, pois podem ser inaladas, ao contrário das restantes. As partículas menores que 2,5 µm são as mais nocivas à saúde, pois podem penetrar profundamente nos pulmões durante respiração e acumularem-se lá. Outra característica importante a analisar é a composição química das partículas, pois presença de compostos tóxicos tais como os metais pesados e hidrocarbonetos poliaromáticos podem causar danos muito graves à saúde pública.

Relativamente aos danos no ambiente a redução da visibilidade, é o principal problema, principalmente em áreas mais urbanas. Outro problema ambiental das partículas é a deposição, pois pode alterar a estética das estruturas e dos monumentos. As partículas podem, também, causar danos na vegetação e nos cursos de água, se as concentrações das mesmas forem altas, se a sua natureza for tóxica ou se possuírem dimensões elevadas.

O controlo na fonte é o único método aceitável para reduzir as emissões de partículas. Relativamente às tecnologias de controlo, estas são maioritariamente baseadas em processos de sedimentação, centrifugação, compactação, filtração e ainda através de precipitadores eletrostáticos. No entanto, em ambiente urbano, as partículas no ar respirável e em deposição podem ter origem diversa, seja esta natural ou antropogénica, pelo que o estudo da matéria particulada no âmbito da qualidade do ar tem merecido, pela sua importância e gravidade dos seus efeitos, uma atenção particular em Portugal e em consonância com as tendências dos restantes países da União Europeia.

Neste contexto, o presente trabalho desenvolvido no âmbito de uma dissertação de Mestrado focou-se no estudo da variabilidade espacial da matéria particulada no campus universitário da Asprela, através da monitorização contínua com recurso à recolha de partículas em 7 campanhas de amostragem com base na metodologia descrita na norma francesa NF X 43-007.

1.2. OBJETIVOS

O presente trabalho teve como principal objetivo o estudo a avaliação e caracterização da qualidade do ar através do fluxo de deposição das partículas atmosféricas no campus universitário da Asprela. A avaliação da dispersão e deposição das partículas sólidas totais focou-

-se essencialmente em zonas potencialmente críticas: parques de estacionamento do campus, zonas de convívio de estudantes (zona elevada afluência), zona exterior dos refeitórios e ainda zona de baixa afluência de estudantes de forma a servir de branco ou controlo.

Por forma a cumprir o objetivo do trabalho foram definidas várias etapas, com base na metodologia adotada.

A primeira etapa diz respeito ao trabalho de campo, desenvolveu-se em 7 campanhas de amostragem, para a recolha de partículas sólidas totais e decorreu entre abril de 2015 e fevereiro de 2016.

A segunda etapa corresponde ao trabalho laboratorial tendo sido efetuada a dissolução do revestimento das placas e posterior filtração das partículas recolhidas. Posteriormente procedeu-se à pesagem de maneira a obter o fluxo de deposição das partículas, sendo estes resultados utilizados na etapa seguinte.

Na terceira etapa foi realizada a identificação elementar das partículas recolhidas na segunda e terceira campanhas da amostragem, pela técnica de microscopia eletrónica de varrimento, no CEMUP.

Por último, efetuou-se o tratamento estatístico dos resultados referentes ao fluxo de deposição obtido em cada ponto nas várias campanhas de amostragem assim como, os dados meteorológicos locais recolhidos no período em análise. No tratamento dos dados, foram utilizadas técnicas do domínio da estatística clássica e da geoestatística, na tentativa de avaliar o comportamento direcional do fluxo de deposição assim como o comportamento e interferência das variáveis suscetíveis de influenciarem a deposição da matéria particulada.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos.

O capítulo 1 corresponde à introdução do trabalho desenvolvido, apresentando algumas considerações gerais ao tema, os respetivos objetivos e a sua estrutura.

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica. Este tem um carácter essencialmente descritivo sendo aqui abordados os conhecimentos, já existentes, para a compreensão, e enquadramento, do tema (partículas em suspensão na atmosfera).

No capítulo 3 é feita a caracterização da área em estudo abordando-se diversos temas do ordenamento territorial que inclui a área em estudo de forma a um melhor conhecimento do campus universitário da Asprela e a sua envolvente.

No capítulo 4 é apresentada a metodologia usada na obtenção dos dados, para posterior tratamento geoestatístico. Neste capítulo é descrita a norma NF X 43-007 bem como os trabalhos laboratoriais realizados para a obtenção do fluxo de deposição, exigidos pela referida norma. Estão também referenciados todos os pontos de amostragem utilizados no estudo, e a sua respetiva descrição. A metodologia de análise e identificação elementar estão presentes neste capítulo tendo sido descrito o seu princípio de funcionamento bem como o procedimento experimental associado. Por último, é descrita a metodologia usada no tratamento estatístico e geoestatístico dos dados: estatística descritiva, variografia e krigagem ordinária.

O capítulo 5 descreve a caracterização das condições climatológicas, os resultados do tratamento geoestatístico dos dados, a apresentação dos modelos de dispersão espacial das

partículas e, por último, os resultados e interpretação da identificação elementar, por microscopia eletrónica de varrimento, das duas campanhas analisadas.

No capítulo 6 apresentam-se as principais conclusões deste trabalho assim como algumas perspectivas futuras relativamente aos resultados obtidos e às dificuldades diagnosticadas ao longo da sua realização.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ATMOSFERA E A SUA CONSTITUIÇÃO

A atmosfera atua como um escudo que protege a vida na Terra através de uma camada relativamente fina de gases e material particulado (aerossóis) envolvendo a Terra. Esta camada é essencial para a vida na Terra pois contém os gases necessários para os processos vitais de respiração celular e fotossíntese, além de fornecer a água necessária para a vida. Este papel protetor da atmosfera verifica-se quer pela absorção dos raios cósmicos do espaço, defendendo assim os organismos dos seus efeitos, quer pela absorção da radiação ultravioleta solar, que caso não fossem absorvidas, iriam causar graves danos aos organismos vivos. A atmosfera é ainda responsável pelo aquecimento da superfície por meio da retenção de calor (efeito estufa), reduzindo os extremos de temperatura entre o dia e a noite. Apesar de ser extremamente importante, a atmosfera tem sido danificada por materiais poluentes que alteram não só as suas características naturais como têm consequências ao nível da destruição da vegetação e da diminuição do tempo de vida dos humanos a longo prazo (Manahan, 2000).

O ar atmosférico é composto essencialmente por 78,08 % de azoto, 20,95 % de oxigénio e por dois compostos minoritários: árgon (0,934 %) e dióxido de carbono (0,036 %). Contém ainda quatro gases nobres: Néon ($1,82 \times 10^{-3}$ %), Hélio ($5,24 \times 10^{-4}$ %), Criptón ($1,14 \times 10^{-4}$ %) e Xénon ($8,7 \times 10^{-6}$ %). Possui ainda entre 0,1 a 5 % de água por volume, com um volume normal entre 1 e 3 % (Manahan, 2000).

Tabela 1: Volume Percentual dos Gases Residuais existentes no Ar Seco Atmosférico (Fonte: Manahan, 2000)

Gás ou Espécie	Volume Percentual (%)
CH ₄	$1,6 \times 10^{-4}$
CO	$1,2 \times 10^{-5}$
N ₂ O	3×10^{-5}
NO _x	$10^{-10} - 10^{-6}$
HNO ₃	$10^{-9} - 10^{-7}$
NH ₃	$10^{-8} - 10^{-7}$
H ₂	5×10^{-5}
H ₂ O ₂	$10^{-8} - 10^{-6}$
HO	$10^{-13} - 10^{-10}$
HO ₂	$10^{-11} - 10^{-9}$
H ₂ CO	$10^{-8} - 10^{-7}$
CS ₂	$10^{-9} - 10^{-8}$
OCS	10^{-8}
SO ₂	2×10^{-8}
CCl ₂ F ₂	$2,8 \times 10^{-5}$
H ₃ CCl ₃	1×10^{-8}

A atmosfera encontra-se dividida em diversas camadas, com base nas relações entre a temperatura e a densidade, resultantes de interações entre processos físicos e fotoquímicos no ar. A primeira camada, que se estende desde do nível do mar até a uma altitude de 10 a 17 quilómetros, é a troposfera e é composta maioritariamente por gases. Uma das características

da troposfera é a diminuição da temperatura com o aumento da altitude, provocada pelo afastamento em relação ao calor radiado da superfície da terra (Spellman, 2010). A composição homogénea da troposfera é provocada por uma constante mistura de massas de ar em circulação. No entanto, a concentração em vapor de água é extremamente variável devido à formação de nuvens, precipitação e evaporação de água pelos corpos terrestres (Manahan, 2000).

A temperatura mais baixa correspondente à camada superior da troposfera, -55°C serve como uma barreira, transformando o vapor de água em gelo, impedindo assim que esse vapor alcance altitudes em que seria fotodissociado pela radiação da energia ultravioleta (Spellman, 2010). Se este fenómeno acontecesse, o hidrogénio produzido escaparia da atmosfera terrestre e seria perdido.

A camada superior à troposfera é a estratosfera. Nesta, a temperatura aumenta para um máximo de -2°C com o aumento da altitude. Este aquecimento deve-se à absorção da radiação ultravioleta pelo Ozono (O_3).

Posteriormente encontra-se a mesosfera, que se caracteriza pela ausência de espécies que absorvem a radiação, originando uma diminuição da temperatura até -92°C nos seus 80 km de altitude (Spellman, 2010).

No limite da mesosfera existe a exosfera, onde as moléculas e iões podem escapar da atmosfera.

Por último, encontra-se a termosfera, onde os gases muito rarefeitos alcançam temperaturas da ordem dos 1200°C , devido à absorção da radiação com comprimento de onda inferior a 200 nm, pelos gases existentes nessa região (Manahan, 2000).

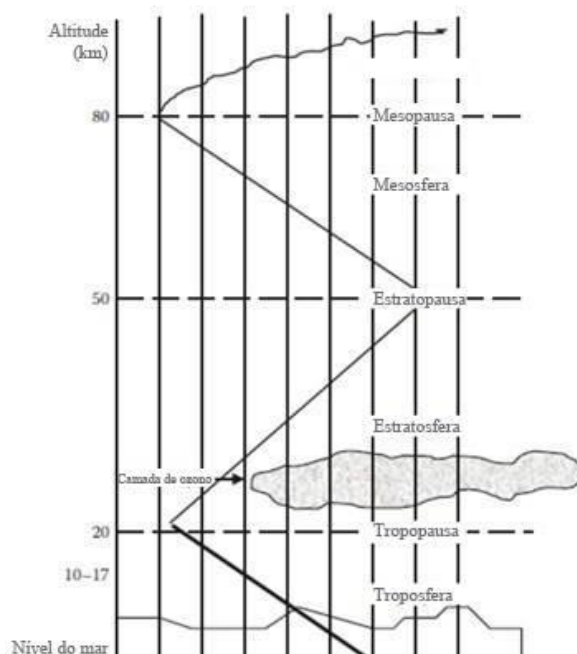


Figura 1: Estratificação da Atmosfera (Fonte: Spellman, 2010).

2.2. POLUENTES ATMOSFÉRICOS: FONTES, CONTROLO E EFEITOS NOS SERES-VIVOS E NO AMBIENTE

A poluição atmosférica pode ser definida como: “A introdução pelo homem no ambiente de substâncias ou energia suscetíveis de provocar perigo para a saúde humana, afetar os recursos vivos e sistemas ecológicos, deteriorar bens materiais ou interferir no uso legítimo do ambiente” (Colls, 2002).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que todos os anos 2 milhões de pessoas morrem devido aos efeitos nocivos da poluição atmosférica. Estas estimativas são feitas através de estudos epidemiológicos que comprovam a existência de uma relação entre a exposição à poluição atmosférica e as doenças e mortes devido a problemas respiratórios e cardiovasculares. Apesar dos esforços feitos para alterar este problema, a poluição atmosférica continua a ser um assunto de elevada importância, tendo como principal objetivo e missão reduzir os impactos na saúde humana (Slezakova et al., 2013).

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados segundo a sua fonte, a sua composição química e o seu estado físico. Relativamente às fontes, estas podem ser antropogénicas ou naturais. As fontes antropogénicas são as que resultam das atividades humanas, como a atividade industrial ou o tráfego automóvel, enquanto as fontes naturais englobam fenómenos da Natureza tais como emissões provenientes de erupções vulcânicas ou fogos florestais de origem natural. Relativamente à origem, dividem-se em poluentes primários e poluentes secundários. Os poluentes primários são emitidos diretamente das fontes para a atmosfera, onde permanecem. Os poluentes secundários são formados na atmosfera através de reações químicas, fotoquímicas e de oxidação. Em relação à composição química, os poluentes atmosféricos podem ser orgânicos e inorgânicos. Os poluentes orgânicos são constituídos maioritariamente por carbono e hidrogénio, mas também contêm oxigénio, azoto, fósforo, enxofre e halogéneos (essencialmente cloro, flúor e bromo). Os poluentes considerados como inorgânicos são: monóxido de carbono, dióxido de carbono, ácido clorídrico e ácido fluorídrico. Por último, os poluentes podem ainda ser classificados relativamente ao estado da matéria: poluentes particulados e poluentes gasosos. A matéria particulada está presente na atmosfera no estado sólido e líquido enquanto os poluentes gasosos incluem substâncias consideradas gasosas devido às suas condições atmosféricas de pressão e temperatura (Ferraz, 2005).

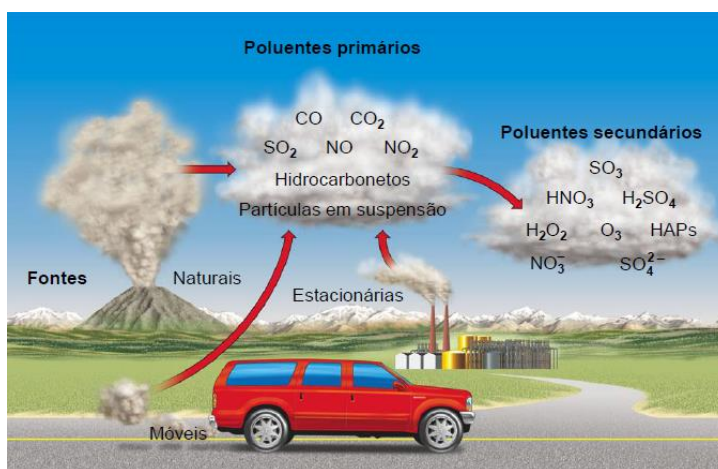


Figura 2: Fontes dos Poluentes Atmosféricos (Fonte: Pereira, 2015).

A concentração dos poluentes pode ser expressa em unidades volumétricas e gravimétricas. As unidades volumétricas representam a taxa de mistura entre o volume do

poluente e o volume original de ar (Colls, 2010) e podem ser expressas em partes por milhão (ppm), equivalente a $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ ou $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, e em partes por bilhão (ppb), equivalente a $\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$ ou $\text{nmol}\cdot\text{mol}^{-1}$. Estas unidades são adequadas apenas para gases. As unidades gravimétricas definem a massa de poluente por unidade de volume de ar e são expressas em $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Ao contrário das unidades volumétricas, estas unidades são utilizadas quer para gases como para partículas (Pereira, 2012).

Existem diversos poluentes atmosféricos, mas os mais comuns nas áreas urbanas e industriais quotidianas e que fazem parte do cálculo do índice de qualidade do ar são o monóxido de carbono (CO), o dióxido de azoto (NO_2), o dióxido de enxofre (SO_2), o Ozono (O_3) e as partículas finas ou inaláveis (medidas como PM_{10}).

2.2.1. DIÓXIDO DE AZOTO (NO_2)

O dióxido de azoto é um gás de cor acastanhada ou castanho-avermelhada, de cheiro forte e irritante, muito tóxico. É um poderoso oxidante cujas nas reações na atmosfera podem originar ácido nítrico, bem como nitratos orgânicos que contribuem para fenómenos com elevado impacto ambiental, como as chuvas ácidas e a eutrofização de lagos e rios (HNO_3) (Henriques, 2012).

O dióxido de azoto resulta da queima de combustíveis nas unidades industriais e da combustão a altas temperaturas nos motores dos veículos automóveis. Na combustão a elevadas temperaturas o azoto e o oxigénio moleculares do ar formam os óxidos de azoto, sobretudo o monóxido de azoto que se oxida em grande parte dando origem ao dióxido de azoto (APA, 2016).

O NO_2 tem pouca afinidade pela água das mucosas, logo alcança as regiões mais profundas do trato respiratório e inibe algumas funções dos pulmões, tais como a resposta imunológica, diminuindo a resistência às infeções. Assim, os seus efeitos na saúde traduzem-se no aumento da suscetibilidade a doenças respiratórias, principalmente em crianças, e também no aumento da possibilidade de ataques de asma (APA, 2016).

2.2.2. DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO_2)

O dióxido de enxofre é incolor, irritante, formado principalmente a partir da combustão de combustíveis fósseis que contêm enxofre, tais como carvão e petróleo ($\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$), na atmosfera pode ser convertido em ácido sulfúrico (H_2SO_4), um agente principal da acidificação da atmosfera (Henriques, 2012).

O dióxido de enxofre provém fundamentalmente da combustão dos combustíveis fósseis que contêm enxofre. É um gás emitido principalmente por fontes industriais, tais como: refinarias petrolíferas, indústria do papel e indústria química, centrais térmicas, etc., e também pelo tráfego rodoviário (Oliveira, 2009). Os vulcões em erupção são a fonte natural mais importante responsável pelas emissões do dióxido de carbono (Ferraz, 2005).

Os efeitos do dióxido de enxofre na saúde encontram-se associados a doenças respiratórias (como a bronquite crónica e asma) e cardiovasculares. É um dos gases que mais contribui para a acidificação das águas e vegetação, para a formação de *smog*, e também pode provocar más condições de visibilidade. Uma parte do SO_2 transforma-se em pequenas partículas de sulfatos que podem atingir as vias respiratórias (APA, 2016).

2.2.3. MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

É um gás levemente inflamável, incolor, inodoro e muito perigoso devido à sua grande toxicidade. É produzido pela queima em condições de pouco oxigénio (combustão incompleta) e/ou alta temperatura de carvão ou outros materiais ricos em carbono, como derivados de petróleo ($2\text{ C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$) (Henriques, 2012).

O monóxido de carbono provém essencialmente das emissões geradas pelos veículos a gasolina, principalmente dos mais antigos, e por alguns processos industriais. Por vezes ocorrem elevadas concentrações de CO em espaços confinados, ou ao longo das vias de circulação em situações de longas filas de trânsito (APA, 2016). A fonte natural mais relevante para as emissões do monóxido de carbono é a oxidação do metano pela vegetação e pelo metabolismo humano (Ferraz, 2005). Este poluente reduz a capacidade de transporte do oxigénio até aos tecidos vitais pelo sangue, afetando os sistemas cardiovascular e nervoso. Em concentrações mais reduzidas pode ser gravoso para indivíduos com doenças cardiovasculares e reduz o desempenho desportivo. As elevadas concentrações podem causar sintomas como dores de cabeça e fadiga (APA, 2016).

2.2.4. OZONO (O₃)

O ozono é um gás altamente reativo, irritante, com cheiro desagradável que se forma na troposfera constituindo o componente principal do nevoeiro fotoquímico (Henriques, 2012). É um poluente secundário, resultando geralmente da transformação fotoquímica de certos poluentes primários na atmosfera, em particular dos óxidos de azoto (NOx) e dos compostos orgânicos voláteis (COV), sob o efeito da radiação ultravioleta.

O ozono é um poderoso oxidante. A exposição crónica pode agravar os sintomas de irritação do trato respiratório, já que o oxida, podendo provocar dificuldades respiratórias. Uma intoxicação aguda provoca uma reação inflamatória ao nível das mucosas respiratórias e agrava os sintomas de problemas respiratórios preexistentes (APA, 2016).

2.2.5. PARTÍCULAS ATMOSFÉRICAS (PM)

As partículas na atmosfera podem ser poluentes primários e secundários, e encontram-se no estado sólido ou líquido. As partículas com diâmetros menores a 10 µm têm velocidades de sedimentação gravítica muito baixas e podem permanecer no ar durante dias, antes de serem transportadas pela chuva ou captadas pela vegetação e pelos edifícios. São poluentes importantes pois são responsáveis pela redução da visibilidade, pela acidificação dos solos e podem prejudicar significativamente a saúde humana. É importante estudar as suas características num dado contexto, uma vez que é um dos parâmetros mais relevantes da qualidade do ar. As variáveis mais importantes são a concentração, a composição granulométrica (distribuição dos tamanhos das partículas) e a composição química (Colls & Tiwary, 2010).

2.2.5.1. TAMANHO DAS PARTÍCULAS

O tamanho é uma das características mais importantes das partículas, pois influencia diretamente a saúde humana. Para avaliar esse tamanho, é necessário definir o diâmetro aerodinâmico. Este parâmetro é definido como o diâmetro de uma partícula esférica com massa volúmica de 1 g.cm⁻³ (o mesmo que o da água pois têm as mesmas propriedades de inércia e velocidade de sedimentação no ar). O diâmetro aerodinâmico fornece um meio simples de categorizar os tamanhos das partículas com diferentes formas (Pereira, 2015).

Existem várias terminologias para descrever as partículas relativamente às suas características. Algumas das mais usadas são:

- Matéria Particulada Suspensa: (*SPM, Suspended Particulate Matter*) ou Total de Partículas Suspensas (*TSP, Total Suspended Particles*) corresponde ao total de partículas provenientes do ar atmosférico;
- Matéria Particulada: (*PM, Particulate Matter*), é definido como uma mistura de sólidos, líquidos ou partículas sólidas e líquidas em suspensão no ar com dimensões que variam entre 0,01 e 100 μm . As PM_{10} são partículas em suspensão suscetíveis de passar através de uma tomada de ar seletiva, com uma eficiência de corte de 50% para um diâmetro aerodinâmico de 10 μm . As $\text{PM}_{2,5}$ são partículas em suspensão suscetíveis de passar através de uma tomada de ar seletiva, com uma eficiência de corte de 50% para um diâmetro aerodinâmico de 2,5 μm (Pereira, 2015).
- Partículas Finas: usualmente mais pequenas que alguns μm . As $\text{PM}_{2,5}$ são consideradas partículas finas;
- Partículas Ultrafinas e Nanopartículas: são partículas com diâmetros inferiores a 0,2 μm . Normalmente esta categoria é expressa em nm;
- Aerossol: qualquer partícula, sólida ou líquida, suspensa no ar;
- Poeira: idêntica à anterior, com a diferença de as partículas serem menores. Tipicamente são maiores do que 1 μm (Colls & Tiwary, 2010).
- Areia ou material grosseiro: representa a fração mais grosseira de material, usualmente formada por processos mecânicos como britagem ou moagem;

Tipicamente a distribuição do tamanho, referente às partículas atmosféricas, é uma distribuição bimodal, com uma amplitude de tamanho que vai dos 1000 nm até aos 3000 nm, que distingue a fração grosseira da fração fina.

A fração grosseira consiste em partículas com diâmetros aerodinâmicos, maiores do que 2500 nm. Esta fração pode ser dividida em partículas muito grosseiras (*supercoarse*) ou apenas partículas grosseiras (*coarse*). As partículas grosseiras possuem diâmetros entre 2500 nm e 10000 nm. Estas partículas são normalmente produzidas por processos mecânicos, como a erosão provocada pelo vento. As que têm origem no *spray* do mar salgado, no pólen e nos esporos também pertencem a este grupo, assim como as que tem origem nas fibras das plantas e das folhas. Este material particulado tem grandes dimensões, logo após o momento em que é formado, sedimenta graviticamente em poucas horas. As partículas muito grosseiras têm diâmetros aerodinâmicos superiores a 10000 nm. Como estas partículas possuem dimensões demasiado elevadas para entrar no sistema respiratório humano, elas não são consideradas relevantes como possíveis fatores de riscos para a saúde. Contudo, devido a possíveis impactos ambientais, as partículas grosseiras são analisadas quando é avaliada a matéria particulada suspensa total (*TSP, suspended particulate matter*), que inclui partículas com tamanhos que chegam a alcançar os 30000 nm (isto é, 30 μm).

A fração fina possui diâmetros aerodinâmicos menores que 2500 nm e é gerada, normalmente, por fontes antropogénicas. O tamanho menor destas partículas torna-as menos suscetíveis à sedimentação gravítica, permanecendo no ar desde dias até semanas, podendo percorrer longas distâncias. Quando inaladas, as partículas finas instalam-se nas vias

respiratórias, nos pulmões, no entanto podem-se penetrar além das vias respiratórias, até à região alveolar. Baseando-se nas formações mecânicas as partículas finas são ainda subdivididas quanto ao modo de acumulação e quanto ao modo nuclear. O modo de acumulação inclui partículas com diâmetros aerodinâmicos que variam entre 100-1000 nm. Estas resultam de fontes antropogénicas (combustão das gasolinas dos motores e dos óleos lubrificantes de veículos movidos a *diesel* ou veículos abastecidos através de injeção direta de petróleo) mas, também podem formar-se naturalmente, isto é, através da agregação de partículas nucleares ou por condensação de moléculas, de gases ou vapores, na superfície de partículas já existentes.

As partículas nucleares, ou ultrafinas ou nanopartículas, possuem diâmetros menores que 100 nm. Na atmosfera, estas partículas são formadas por condensação de substâncias com pressão de vapor baixo, formadas por altas temperaturas de vaporização, ou por reações químicas na atmosfera. Habitualmente, estas partículas são geradas por fontes antropogénicas. O tamanho menor destas partículas torna-as menos suscetíveis à sedimentação gravítica, que resulta, novamente, em tempos de vida atmosféricos que variam entre dias a semanas e na sua capacidade de transporte durante grandes distâncias na atmosfera. Devido ao seu pequeno tamanho e à sua elevada área de ação, estas partículas são quimicamente reativas. As colisões entre si e entre outras partículas em modo de acumulação reduzem, em grande parte, o seu curto tempo de vida atmosférico (desde poucos minutos até algumas horas). Quando inaladas, estas partículas são depositadas na superfície alveolar, por isso, conseguem deslocar-se através da corrente sanguínea ou através do sistema linfático até aos órgãos. Além da sua grande capacidade em penetrar nos pulmões, a elevada distância que conseguem percorrer é responsável pelos impactos negativos na saúde humana; as evidências científicas indicam que quanto maior é a área afetada, maiores são os impactos na saúde (Slezakova et al., 2013).

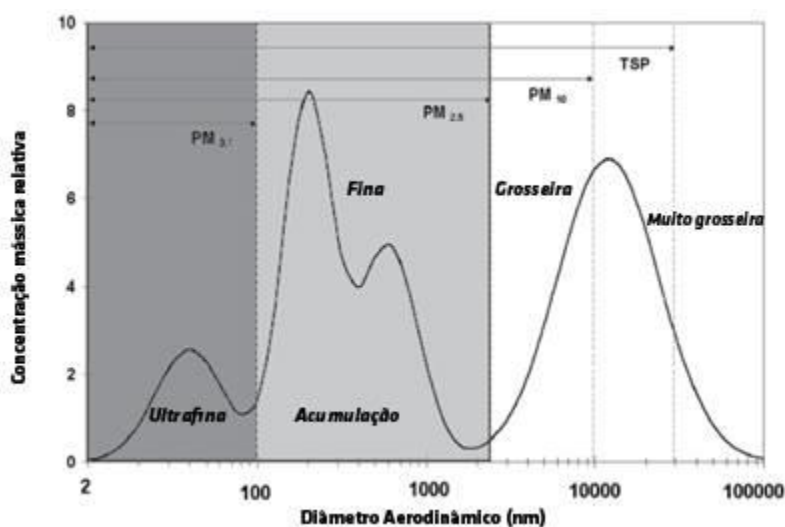


Figura 3: Classificação de partículas em relação ao diâmetro aerodinâmico (Fonte: Ferraz, 2005).

2.2.5.2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS PARTÍCULAS

A importância das características químicas das PM tornou-se conhecida através de estudos recentes que demonstram que a composição química das partículas contribui para efeitos adversos à saúde humana (Harrison & Yin, 2000). A presença de compostos tóxicos tais como os metais pesados e hidrocarbonetos poliaromáticos podem causar danos muito graves à saúde pública. Consequentemente, uma caracterização mais detalhada da matéria particulada

proveniente das fontes antropogénicas, que tendencialmente contêm estas substâncias tóxicas, torna-se imprescindível.

Em geral, a matéria particulada é constituída por:

- Material inorgânico solúvel;
- Material inorgânico insolúvel;
- Material carbonoso.

O material inorgânico solúvel representa em média 25-35 % das partículas. Este material pode ser dividido em grupos químicos como os sulfatos, nitratos e cloretos, sendo normalmente combinados com a amónia e com os catiões de sódio, cálcio e magnésio (Slezáková, 2009).

O material inorgânico insolúvel em água representa aproximadamente 20 % da matéria particulada. Inclui vários minerais como o quartzo (SiO_2), calcite (CaCO_3), epsomite ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), feldspato (Si_3O_8) ou montmorillonita. Os metais pesados também estão presentes (Slezáková et al., 2013).

O material carbonoso representa aproximadamente 40 % da matéria particulada, sendo representado por diferentes espécies de carbono, como os alcanos, ácidos alcanóicos, hidrocarbonetos aromáticos, policíclicos, entre outros (Slezáková et al., 2013). A composição química típica das partículas é demonstrada na figura 4.

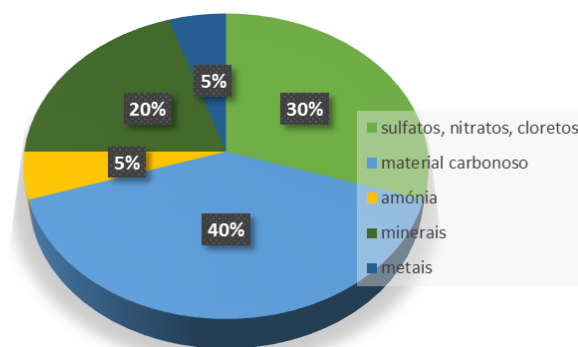


Figura 4: Composição química geral das partículas (Fonte: Slezáková, 2009).

2.2.5.3. FONTES DAS PARTÍCULAS

As partículas em suspensão provêm de um número variado de fontes, que podem ser naturais e antropogénicas. As fontes naturais incluem as poeiras vindas do solo e dos vulcões, *sprays* da água do mar, areia e poeiras das tempestades de vento, pólenes, esporos, bactérias, fibras de plantas, etc. A poeira do solo é considerada a maior fonte de partículas naturais no mundo e a evaporação da água do mar é uma fonte muito importante, especialmente nas áreas costeiras. Em Portugal as fontes naturais que emitem um maior número de partículas são: os *sprays* de água salgada, os fogos florestais e as partículas provenientes do deserto Sahara (Slezáková, 2009).

As partículas provenientes de fontes antropogénicas resultam das cinzas, da fuligem e de outras partículas produzidas principalmente pela combustão de carvão e fuel-óleo na indústria e nos automóveis. São geradas em processos industriais, mas resultam também do tráfego rodoviário (sendo emitidas nos gases de escape dos veículos a gasóleo), de processos de

queima, de movimentações de terras, da re-suspensão provocada pela passagem de veículos nas estradas, etc. (APA, 2016). Segundo a *Environmental Energy Agency*, as partículas vindas do tráfego rodoviário são as mais preocupantes e a redução destas emissões, especialmente de PM_{2,5}, são fundamentais para a proteção da saúde pública (EEA, 2014).

O controlo na fonte é o único método aceitável para reduzir as emissões de partículas. Relativamente às tecnologias de controlo, estas são maioritariamente baseadas em processos de sedimentação, centrifugação, compactação, filtração e ainda através de precipitadores eletrostáticos (Colls & Tiwary, 2010).

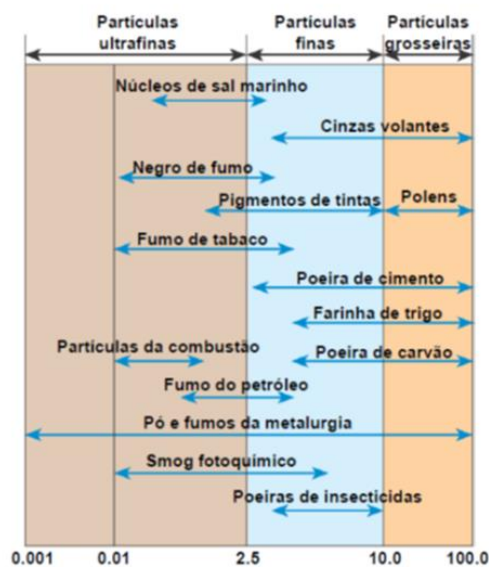


Figura 5: Categorização das partículas segundo os tamanhos e as suas fontes (Fonte: Henriques, 2012).

2.2.5.4. DANOS NA SAÚDE PROVOCADOS PELAS PARTÍCULAS

As PM inferiores a 10 µm são mais agressivas ao sistema respiratório, pois não ficam retidas nos pêlos e nas células ciliadas das vias aéreas superiores, podendo ser inaladas, ao contrário das outras. As partículas menores que 2,5 µm, que resultam geralmente da combustão de combustíveis fósseis, são as mais nocivas à saúde, pois podem penetrar profundamente nos pulmões durante respiração e acumularem-se lá. Além disso possuem também um tempo longo de residência na atmosfera, podendo estar sujeitas ao transporte de longo alcance.

As partículas podem provocar danos na função pulmonar não só atuando diretamente, mas também como transportadoras de outras substâncias nocivas até aos pulmões, como outros poluentes ou alergénios.

Relativamente aos sintomas respiratórios, verifica-se que existe uma maior prevalência de sintomas de hipersecreção de muco e falta de ar e ainda diagnósticos de bronquite crónica e enfisema ou DPOC (Doença Pulmonar Obstrutiva Crónica) em áreas com maior poluição causada por partículas em suspensão (Oliveira, 2009). Vários estudos demonstraram que as taxas de incidência de bronquite asmática e sintomas associados a esta patologia são mais elevados em crianças que vivem em áreas muito poluídas comparadas com crianças que vivem em zonas menos poluídas.

As partículas em suspensão têm sido identificadas como o poluente que mais afeta a saúde pública, a longo prazo. Os níveis elevados de PM₁₀ causam um aumento de dificuldade

respiratória em pessoas com asma, DPOC e outros, e também podem provocar a morte prematura em idosos com doenças pulmonares ou cardíacas (Oliveira, 2009).

2.3. IMPACTOS GLOBAIS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Os impactos das partículas ao nível do ambiente podem ser a uma escala local, regional ou global, dependendo do tipo de poluição e das características ambientais. Os impactos mais importantes a nível global são descritos nas secções seguintes.

2.3.1. ACIDIFICAÇÃO

O fenómeno da chuva ácida tornou-se num dos maiores efeitos negativos da poluição atmosférica, provocada pela industrialização. Como se referiu anteriormente, a chuva ácida produz-se quando o dióxido de enxofre (SO_2) e os óxidos de azoto (NO_x) reagem com o oxigénio atmosférico e se dissolvem na água da chuva, formando ácido sulfúrico e ácido nítrico.

O vento pode fazer com que os óxidos de enxofre e de azoto percorram milhares de quilómetros antes de caírem sob a forma de chuva, orvalho, granizo, neve ou neblina ou, inclusive, sob a forma de gases e partículas com carácter químico ácido.



Figura 6: Efeitos da Acidificação nas Florestas (Fonte: Henriques, 2012).

Os principais responsáveis por este problema ambiental são as emissões associadas aos meios de transporte, às centrais térmicas, que usam combustíveis fósseis como o carvão, às indústrias e às estações agropecuárias, designadamente por causa do amoníaco originado no estrume (Leite et al., 2010).

A chuva ácida causa um aumento na mortalidade das plantas e dos peixes, provocada pela maior acidificação do ambiente; provoca danos nos materiais de construção e nos monumentos históricos; e os poluentes tais como os

metais pesados e os nitratos são mais facilmente libertados para as águas subterrâneas (Ferraz, 2005).

2.3.2. DEPLEÇÃO DO OZONO ESTRATOSFÉRICO

A depleção do ozono estratosférico (denominado também como “buraco de ozono”) trata-se de uma redução periódica na concentração de ozono estratosférico (a grandes altitudes) sobre os polos. A destruição da camada de ozono (O_3) tem ocorrido desde os anos 80 devido à libertação de gases como os clorofluorcarbonetos (CFC's), compostos halogenados, tetracloreto de carbono, 1,1,1-tricloroetano, brometo de metilo, hidroclorofluorcarbonetos (HCFC's) e hidrobromofluorcarbonetos (HBFC's) que, ao ligarem-se com o oxigénio destroem as moléculas de O_3 da alta atmosfera. Quanto mais fina a camada de ozono, menor é a capacidade de a atmosfera filtrar os raios solares ultravioleta (UV) que são prejudiciais à saúde, com ênfase na incidência de casos de cancro de pele e outras doenças (Pereira, 2015).

Estes gases são usados como solventes, refrigerantes, agentes desengordurantes, aerossóis (*sprays*), agentes espumantes químicos, extintores de incêndio e pesticidas. O

potencial de destruição da camada depende nas características químicas de cada substância, que define a extensão até onde a camada de ozono é afetada (Ferraz, 2005).

A camada de ozono é destruída através da reação do ozono com estes gases, aumentando assim a quantidade radiações UV-B que atingem a superfície da terra.

Esta destruição pode ter várias consequências na saúde humana e no ambiente tais como: queimaduras e cancro da pele, cataratas e deficiências no sistema imunitário, diminuição de colheitas agrícolas, danos na vegetação e na vida marinha, entre outros (Pereira, 2015).

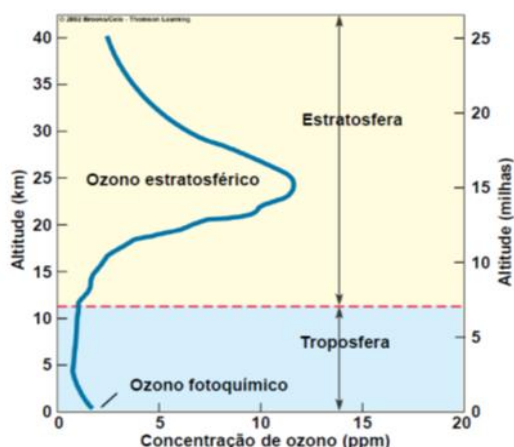


Figura 7: Concentração do Ozono ao longo das camadas atmosféricas (Fonte: Henriques, 2016).

2.3.3. GASES COM EFEITO DE ESTUFA E ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

O Efeito de Estufa é um fenômeno que ocorre naturalmente na atmosfera. Neste processo estão envolvidos gases que permitem que a radiação solar penetre na superfície terrestre, mas que impedem que a radiação e o calor voltem ao espaço, mantendo assim um nível de aquecimento ótimo para a manutenção da vida. O grande problema resulta da diminuição da camada de ozono e do efeito de estufa, que apesar de serem efeitos ambientais diferentes, estão inter-relacionados e têm origem principalmente na atividade humana. As substâncias responsáveis pela destruição da camada de ozono, como os CFCs, também contribuem para o aumento do efeito de estufa. Esta camada permite manter o balanço de temperatura na Terra, uma vez que o aquecimento global conduz ao aumento médio das temperaturas na troposfera, podendo ocorrer o arrefecimento da estratosfera e, consequentemente aumentar a destruição da camada de ozono (temperaturas baixas são favoráveis às reações que levam à destruição do ozono).

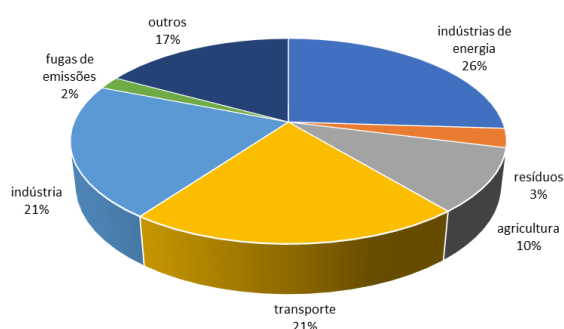


Figura 8: Emissões dos Gases de Estufa por setor (Pereira, 2015).

Os gases de efeito de estufa mais importantes são o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), clorofluorcarbonetos (CFCs) e outros halocarbonetos, o ozono (O_3) e o óxido nitroso (N_2O) (Ferraz, 2005).

O aumento exponencial do uso de combustíveis fósseis (ex. petróleo e derivados), associado à desflorestação, em particular devido aos por incêndios florestais (sendo as árvores naturais

consumidoras de dióxido de carbono) constituem as principais causas do agravamento do efeito de estufa (Pereira, 2015).

O aumento da concentração dos gases do efeito de estufa tem como reflexo o aumento da temperatura do ar. A preocupação a nível mundial acentua-se cada vez mais, pois um aquecimento acentuado da temperatura ao nível do solo pode provocar alterações climáticas em todo o mundo. Estas consequências provocam modificações no regime das precipitações e no ciclo natural da água, bem como a fusão dos gelos dos grandes calotes polares, o que traz profundas alterações na fauna e na flora e a elevação do nível dos oceanos.

Para combater este desequilíbrio e no âmbito das Nações Unidas, vários países decidiram adotar a Convenção-Quadro sobre Alterações Climáticas e o Protocolo de Quioto (Ferraz, 2005).

2.3.4. DANOS AMBIENTAIS PROVOCADOS PELAS PARTÍCULAS ATMOSFÉRICAS

O primeiro dano ambiental relacionado com as emissões de partículas é a redução da visibilidade, que é um problema particular nas áreas mais urbanas. O grau de impacto na visibilidade depende de um número de fatores como: a densidade de acumulação, o tamanho das partículas, as condições meteorológicas, localização das fontes, altura do dia, etc.. Relacionada com a falta de visibilidade, está a redução da radiação solar provocada pela absorção dos raios solares pelas partículas. Esta redução da visibilidade leva à redução da temperatura em áreas em que a absorção é elevada, e por consequência provoca danos ambientais significativos. Também pode reduzir a evolução do crescimento das plantas e despoletar nos humanos doenças como a depressão, devido à diminuição da luz solar.

Outro problema ambiental das partículas é a deposição. Esta pode alterar a estética das estruturas e dos monumentos. Se as PM são corrosivas, ou tornam-se corrosivas com o contacto com a água (por exemplo com a chuva), podem danificar a integridade estrutural das infraestruturas, como por exemplo estradas e pontes.

As partículas podem, também, causar danos na vegetação e nos cursos de água, se as concentrações das mesmas forem altas, se a sua natureza for tóxica ou se possuírem dimensões elevadas. As partículas podem reduzir a produção das colheitas, bloqueando os processos naturais das plantas. Se forem alcalinas ou ácidas, podem alterar o pH dos cursos de água. Se forem tóxicas, as plantas e os animais em contacto com as PM poderão tornar-se tóxicos e afetar negativamente a cadeia alimentar.

As partículas podem aumentar as reações químicas na atmosfera ao atuarem como um catalisador, especialmente se conterem metais catalíticos. Como têm uma elevada área superficial por unidade de volume, podem provocar reação catalítica, como a conversão de emissões de VOCs em *smog* fotoquímico (Baukal, 2003).

2.4. DISPERSÃO DOS POLUENTES

As condições meteorológicas são o fator fundamental na dispersão dos poluentes atmosféricos podendo dizer que existem duas componentes principais:

- Componente vertical comandada pela turbulência gerada pelo gradiente vertical da temperatura ou Gradiente Térmico entre as camadas da baixa atmosfera.
- Componente horizontal em que o vento é o principal agente tanto no transporte como na mistura.

A temperatura do ar normalmente decresce com a altitude em aproximadamente 1 °C em cada 100 m. Esta taxa de arrefecimento, devido apenas ao facto de uma massa de ar seco em ascensão estar sujeita a pressões cada vez menores aumentando o seu volume e diminuindo a temperatura, denomina-se por “Gradiente Adiabático” (QualAr, 2016).

O vento é uma grandeza vetorial e como tal apresenta 3 componentes (x, y, z) sendo que a sua resultante determina a direção do vento em cada instante. A componente vertical do vento (z) é responsável pela turbulência enquanto as outras componentes determinam essencialmente o transporte e a diluição das plumas de poluição. A velocidade do vento aumenta em altura afetando de uma forma mais direta a massa de poluentes emitidos pelas chaminés de grande altura, principalmente no momento inicial da mistura dos gases de saída com a camada atmosférica. Em condições de grande estabilidade da atmosfera, o transporte das plumas em altura pode ser feito até longas distâncias e levar a situações de concentrações de poluentes ao nível do solo em locais onde não há fontes poluentes próximas.

Os processos atmosféricos e a circulação associados aos grandes centros de pressão determinam e afetam o estado do tempo sobre os continentes e grandes oceanos do globo. Aos centros de altas pressões denominados de anticiclones (Figura 9) estão associadas condições de tempo caracterizadas por grande estabilidade com pouca mistura vertical e, portanto, fraca dispersão dos poluentes. Aos centros de baixa pressão (Figura 10) associam-se condições de instabilidade e de grande turbulência favorecendo a dispersão dos poluentes.

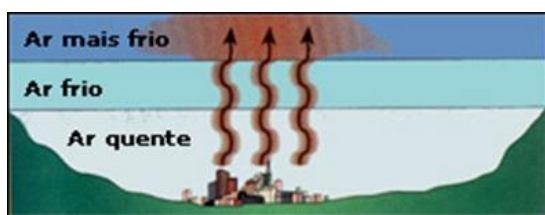


Figura 9: Situação normal de dispersão dos poluentes atmosféricos (Fonte: QualAr, 2016).



Figura 10: Situação “anormal” de dispersão dos poluentes atmosféricos (Fonte: QualAr, 2016).

Estas situações à escala sinóptica (escala de movimento que compreende fenómenos cuja dimensão horizontal varia aproximadamente entre 2000 e 10000 km e cujas escalas de tempo, variam entre dias e uma semana: depressões, anticiclones móveis e depressões frontais são exemplos de fenómenos à escala sinóptica), que influenciam as condições de turbulência e de estabilidade da atmosfera, têm por vezes uma duração mais ou menos prolongada podendo, nas condições desfavoráveis à dispersão, levar a episódios de poluição aguda (*smog* no Inverno e *smog* fotoquímico no Verão) (QualAr, 2016).

Nos dias frios de Inverno, com sol intenso, o ar próximo da superfície da Terra é aquecido pelo calor do solo. Ao final do dia, após o anoitecer, ocorre um acentuado arrefecimento que é particularmente sentido nas camadas junto ao solo. Assim, observa-se que as camadas atmosféricas superficiais apresentam temperaturas inferiores às observadas em maior altitude, fenómeno de inversão térmica, criando-se uma situação de estabilidade elevada e que impede a dispersão adequada dos poluentes emitidos à superfície (APA, 2008).

A maioria dos poluentes evolui segundo um ciclo sazonal bem marcado: os poluentes primários (óxidos de azoto, dióxido de enxofre e partículas finas em suspensão) apresentam geralmente concentrações mais elevadas durante os períodos de Inverno do que durante os de Verão, devido a condições de maior estabilidade atmosférica. Durante o Inverno as frequentes

condições atmosféricas de anticiclone favorecem o fenómeno de inversão térmica que, por sua vez, acentua o efeito de acumulação dos poluentes ao nível do solo, sendo a sua dispersão e transporte vertical desfavorecidos; já as concentrações de ozono são mais elevadas durante a Primavera e Verão em comparação com as de Outono e Inverno. Trata-se de um poluente secundário cuja produção está essencialmente relacionada com a intensidade da radiação solar (APA, 2008).

2.4.1. TRANSPORTE DE PARTÍCULAS COM ORIGEM NOS DESERTOS DO NORTE DE ÁFRICA

Verifica-se, por vezes, uma tonalidade amarelada ou esbranquiçada do céu, em resultado da presença de partículas e poeiras em suspensão, que estão associadas ou a tempo seco ou à ocorrência de “chuva de lamas”. Estes dois tipos de eventos naturais têm como origem as massas de ar que são formadas nas grandes regiões secas e áridas, como os desertos do Sahara e Sahel, e que transportadas pela circulação atmosférica, podem alcançar regiões distantes.

Quando ocorre uma ‘chuva de lamas’ o transporte da massa de ar está associado a um sistema depressionário, registando-se precipitação. Nesta situação, as poeiras coalescem com as gotículas de chuva, dando origem a precipitação com poeiras agregadas. Geralmente, este fenómeno não tem impacto na qualidade do ar pois funciona como mecanismo de remoção de poluentes. Quando o mecanismo de transporte destas massas de ar está associado a circulações como fluxos de corrente de sudeste, ou mesmo recirculações regionais, sem ocorrência de precipitação, a presença destas massas de ar sobre uma região poderá ter repercussões negativas na qualidade do ar que respiramos. O impacto depende da intensidade do fenómeno e da quantidade de material particulado que atinge os níveis de superfície. Desta forma, é fundamental que se faça uma monitorização diária destes fenómenos para identificar a contribuição de poluentes naturais na qualidade do ar que respiramos (APA, 2016).

2.5. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO

Face aos níveis de poluição, muitas vezes elevados, e o seu impacto na saúde das pessoas, as entidades responsáveis têm vindo a estabelecer limites e o cumprimento de objetivos a curto e longo prazo para minimizar os níveis de poluição, de forma a proteger o ambiente e acima de tudo a saúde pública.

2.5.1. LEGISLAÇÃO RELATIVA À QUALIDADE DO AR

A Diretiva CAFE, relativa à qualidade do ar e a um ar mais limpo na Europa, a Diretiva 2008/50/CE de 21 de maio, que unifica num só documento a legislação que consta das três primeiras diretivas filhas e a Decisão 97/101/CE do Conselho, de 27 de janeiro de 1997, que estabelece um intercâmbio recíproco de informações e de dados provenientes das redes e estações individuais que medem a poluição atmosférica nos Estados-Membros (APA, 2008).

A Diretiva 2008/50/CE foi transposta para a ordem jurídica nacional pelo Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro, que agregou a quarta Diretiva-filha (Diretiva 2004/107/CE, de 15 de Dezembro), relativa ao arsénio, ao cádmio, ao mercúrio, ao níquel e aos hidrocarbonetos aromáticos policíclicos no ar ambiente, revogando os seguintes diplomas: - Decreto-Lei n.º 276/99, de 23 de Julho - Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril - Decreto-Lei n.º 320/2003, de 20 de Dezembro - Decreto-Lei n.º 279/2007, de 6 de Agosto - Decreto-Lei n.º 351/2007, de 23 de Outubro (APA, 2016).

O Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro, estipula os objetivos para a qualidade do ar ambiente tendo em conta as normas, as orientações e os programas da Organização Mundial de Saúde, de maneira a preservar e a melhorar a qualidade do ar ambiente. Atendendo aos objetivos da estratégia temática sobre poluição atmosférica, no que respeita à redução da mortalidade e morbilidade devido aos poluentes, foram adotados objetivos de melhoria contínua quanto à concentração no ar ambiente de partículas finas (PM_{2,5}) (APA, 2016).

2.5.2. LEGISLAÇÃO RELATIVA ÀS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

O Decreto-Lei n.º 78/2004, de 3 de abril, estabelece o regime legal relativo à prevenção e controlo das emissões atmosféricas fixando os princípios, objetivos e instrumentos apropriados à garantia de proteção do recurso natural ar, bem como as medidas, procedimentos e obrigações dos operadores das instalações abrangidas, com vista a evitar ou reduzir a níveis aceitáveis a poluição atmosférica originada nessas mesmas instalações.

Este diploma legal abrange todas as fontes de emissão de poluentes atmosféricos associadas a instalações que desenvolvam atividades de carácter industrial, produção de eletricidade e/ou vapor, instalações de combustão integradas em estabelecimentos industriais, comerciais e/ou de serviços, entre os quais os de prestação de cuidados de saúde, os de ensino e instituições do estado, bem como atividades de armazenagem de combustíveis, de pesquisa e exploração de massas minerais e de manutenção e reparação de veículos (APA, 2016).

2.5.3. LEGISLAÇÃO RELATIVA ÀS PARTÍCULAS INALÁVEIS

As partículas inaláveis constituem um dos poluentes atmosféricos mais graves em termos de saúde pública. A Diretiva 2008/50/CE, de 21 de maio, transposta para o direito interno pelo Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro, estabelece o valor limite das suas concentrações no ar ambiente, e ainda, define as regras de gestão da qualidade do ar que lhe são aplicáveis. As concentrações médias diárias de partículas inaláveis (PM₁₀ – partículas com diâmetro inferior a 10 µm) podem ser influenciadas por fenómenos naturais, tais como o transporte de longa distância do ar proveniente de regiões áridas (que transporta poeiras em suspensão), erupções vulcânicas, fogos florestais e sismos.

A identificação e avaliação de fenómenos naturais com influência nos níveis de qualidade do ar assume particular importância para Portugal, tendo sido desenvolvida uma metodologia Ibérica para dedução do contributo do transporte de poeiras dos desertos africanos nas concentrações de partículas para efeitos de avaliação do cumprimento dos valores limite de PM₁₀ (valor médio diário de 50 µg.m⁻³, a não exceder em mais do que 35 dias num ano, e valor da média anual de 40 µg.m⁻³).

O Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro, introduziu objetivos de qualidade do ar para as PM_{2,5}, cuja concentração média anual não deverá ultrapassar o valor limite 25 µg.m⁻³ a partir de janeiro de 2015, valor que é considerado como valor alvo a atingir a partir de 1 de janeiro de 2010.

Uma vez que não foi possível definir um limiar abaixo do qual as PM_{2,5} não constituem problemas para a saúde humana, a legislação contemplou também o objetivo de alcançar a redução contínua das concentrações urbanas de fundo, estabelecendo objetivos adicionais de exposição da população para as PM_{2,5} baseados no cálculo de um indicador de exposição média (IEM).

O IEM corresponde à concentração média anual de três anos consecutivos, determinada em relação a todas as estações urbanas de fundo numa rede de amostragem estabelecida para esse efeito. Assim, a partir de janeiro de 2015 a concentração média anual de $PM_{2,5}$ não deverá exceder o valor limite de $20 \mu g.m^{-3}$ nos três últimos anos consecutivos (IEM de 2013, 2014 e 2015) (APA, 2016).

2.5.4. ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR

O índice de qualidade do ar é uma ferramenta que permite uma classificação simples e compreensível do estado da qualidade do ar. Foi estabelecido para traduzir a qualidade do ar, especialmente em algumas áreas industriais e ambientes urbanos; permitir um fácil acesso do público à informação sobre a qualidade do ar, através da consulta direta ou através dos órgãos de Comunicação Social e dar resposta às obrigações legais.

O índice de qualidade do ar de uma determinada área resulta da média aritmética calculada para cada um dos poluentes medidos em todas as estações da rede dessa área. Os valores determinados são comparados com as gamas de concentrações associadas a uma escala de cores sendo os piores poluentes responsáveis pelo índice.

A classificação do índice varia de Muito Bom a Mau para cada poluente de acordo com a matriz de classificação apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Classificação dos Índices da Qualidade do ar (Fonte: QualAr, 2016)

Poluente em causa / Classificação	CO ($\mu g/m^3$)		NO ₂ ($\mu g/m^3$)		O ₃ ($\mu g/m^3$)		PM ₁₀ ($\mu g/m^3$)		SO ₂ ($\mu g/m^3$)	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Mau	10000	-----	400	-----	240	-----	120	-----	500	-----
Fraco	8500	9999	200	399	180	239	50	119	350	499
Médio	7000	8499	140	199	120	179	35	49	210	349
Bom	5000	6999	100	139	60	119	20	34	140	209
Muito Bom	0	4999	0	99	0	59	0	19	0	139

Independentemente de quaisquer fatores de sinergia entre diferentes poluentes, o grau de degradação da qualidade do ar estará mais dependente da pior classificação verificada entre os diferentes poluentes considerados, pelo que o IQar será definido a partir do poluente que apresentar pior classificação (APA, 2016).

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO E DENSIDADE POPULACIONAL

O local onde o estudo foi realizado, o Campus da Asprela, situa-se na freguesia de Paranhos, no Concelho do Porto. Em 2011, residiam no Porto 237 591 habitantes, menos 25 000 do que em 2001. Esta evolução surge na tendência de contínua descentralização da população observada no Grande Porto, como o demonstra a figura 11.

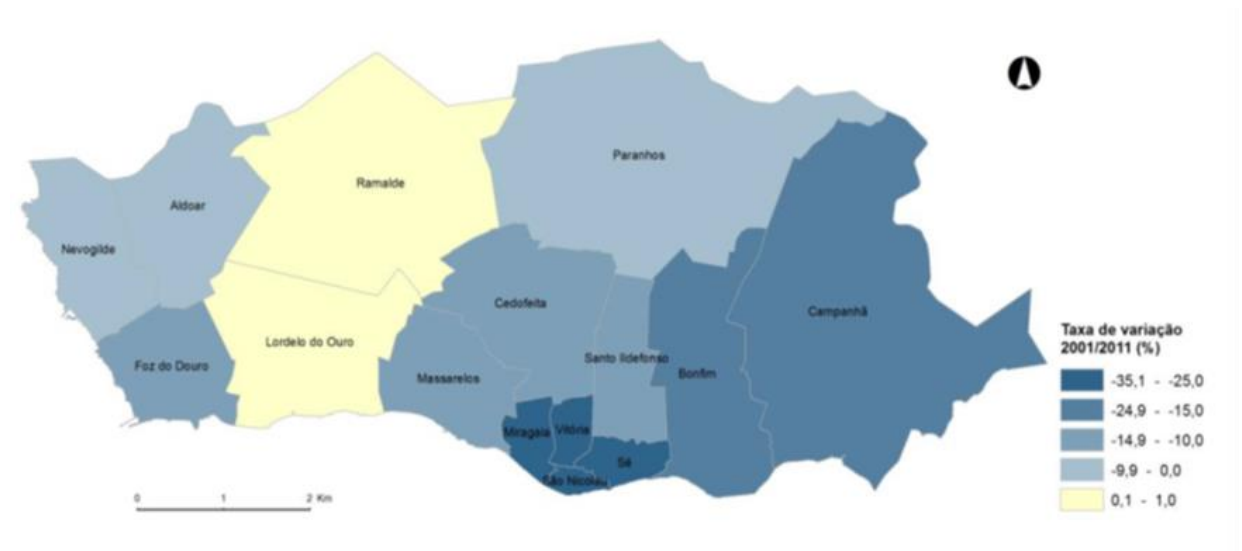


Figura 11: Evolução da população residente no Porto (Fonte: INE, 2011).

A freguesia de Paranhos, onde se realizou o estudo, é a 5ª maior freguesia do país e a maior do concelho do Porto. Dos 237 591 habitantes que residiam no Porto em 2011, 44 289 habitavam em Paranhos (Figura 12).

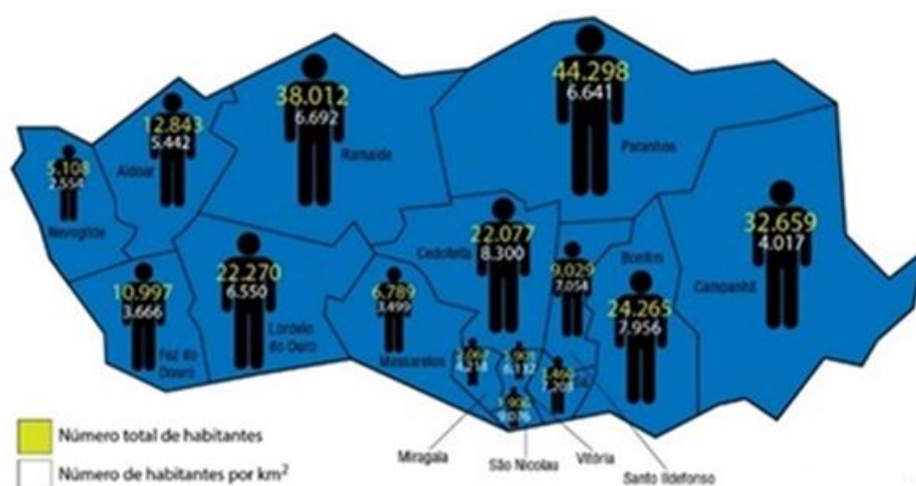


Figura 12: Densidade Populacional no Porto (Fonte: INE, 2011).

A redução demográfica, representada na figura 13, deve-se sobretudo ao acentuar de movimentos migratórios de população, que como referido anteriormente, opta por fixar residência noutros locais, nomeadamente em concelhos vizinhos (CMP, 2015).

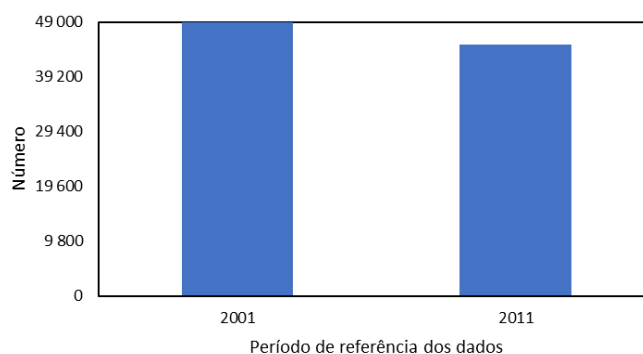


Figura 13: População Residente por local de residência-Paranhos (Fonte: INE, 2011).

3.2. POPULAÇÃO UTILIZADORA E POPULAÇÃO PERMANENTE

Apesar da evolução negativa da população residente, o Porto constitui um polo relevante à escala metropolitana e regional, do ponto de vista da população “utilizadora” formada pelos visitantes e pelos que, não residindo na cidade, aqui exercem a sua profissão, estudam ou recorrem à oferta de serviços públicos e privados. O número da população utilizadora diminuiu entre 2001 e 2011 (de 160 892 para 156 179) apesar de, ainda assim, ser bastante significativa. Esta evolução decorre simultaneamente da quebra registada quanto ao número de trabalhadores, apesar do incremento do número de estudantes.

Tabela 3: Residentes de outros concelhos que estudam ou trabalham no Porto (Fonte: INE, 2011)

	2001	2011
Trabalhadores	125 600	113 763
Estudantes	35 292	42 416
Total	160 892	156 179

A população presente (pessoas que, no momento de observação, se encontram numa unidade de alojamento, mesmo que aí não residam) é bastante significativa na Freguesia de Paranhos, fruto sobretudo da existência do Pólo Universitário da Asprela e dos dois hospitais de referência da região: o Hospital de São João e o IPO.

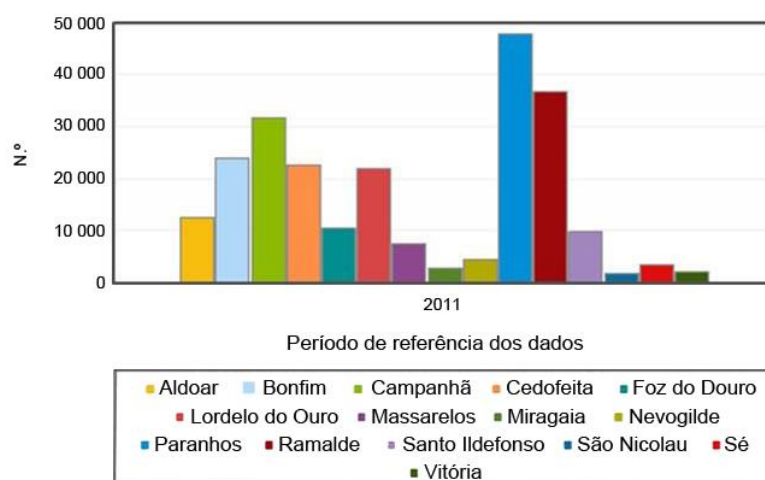


Figura 14: População presente (N.º) por Local de Residência (Fonte: Censos, 2011).

Ao longo das últimas décadas, o número de alojamentos familiares tem crescido consideravelmente no Porto, assim como no resto do país. Entre 2001 e 2011, registou-se a nível nacional um crescimento de quase 10 %, uma taxa, apesar de tudo, inferior à observada na área Metropolitana do Porto e no Continente.

Tabela 4: Evolução do número de alojamentos familiares clássicos e de edifícios no Porto (Fonte: INE, 2011)

	2001	2011
Alojamento familiares clássicos	125 267	137 371
Edifícios	46 661	44 324

À escala das freguesias, o incremento do número de alojamentos foi quase generalizado, verificando-se Miragaia como a única exceção (Figura 15). Paranhos foi das que obteve uma taxa de variação mais elevada, com um total de 27 256 alojamentos (CMP, 2015).

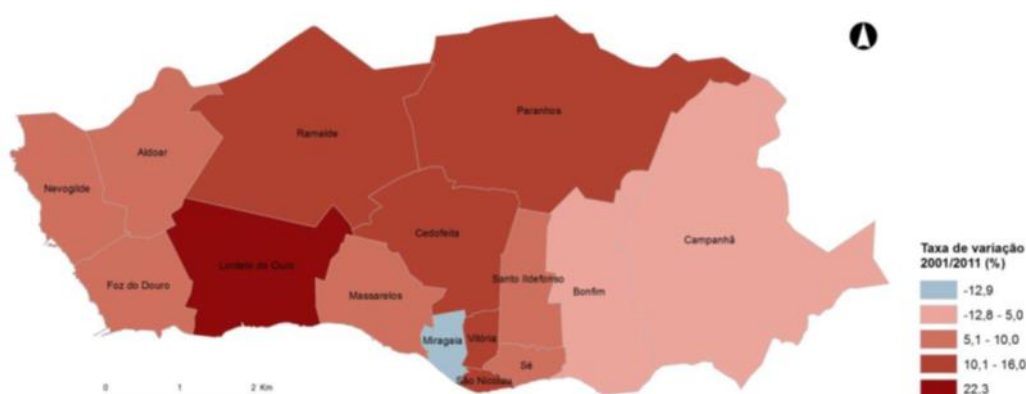


Figura 15: Evolução do número de alojamentos familiares clássicos no Porto (Fonte: INE, 2011).

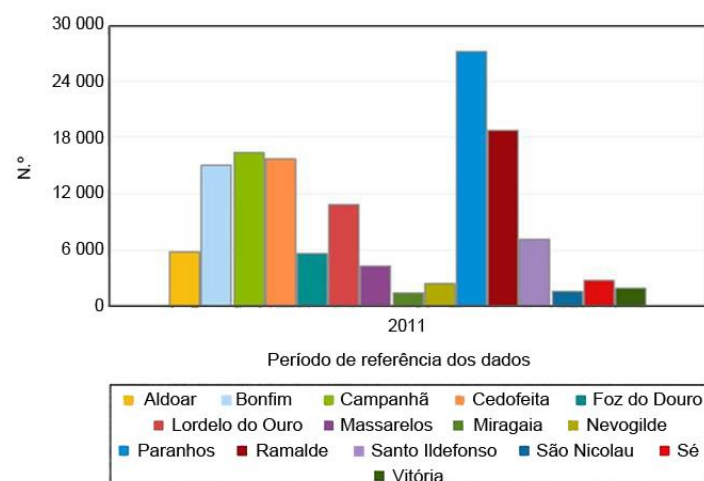


Figura 16: Alojamentos (N.º) por Localização Geográfica: decenal (Fonte: Censos, 2011).

3.3. MOBILIDADE

Os dados estatísticos relativos às deslocações casa/trabalho demonstram que o Porto continua a exercer uma elevada atratividade do ponto de vista do emprego, na medida em que o número de pessoas que residem noutros concelhos e trabalham na cidade (fluxos de entrada) permanece muito superior ao número de pessoas que realizam movimentos opostos (fluxos de saída). A manutenção do número de fluxos de entrada e de saída em valores semelhantes ao longo dos anos surge, deste modo, relacionada ao gradual aumento da proporção das deslocações intermunicipais, nomeadamente das que envolvem concelhos exteriores ao Grande Porto.

Relativamente aos fluxos casa/local de estudo, os censos de 2011 demonstram que apesar de na década passada o Porto ter sido muito procurado do ponto de vista do ensino, em 2011 esta procura reforçou-se mais ainda, visto que os fluxos de entrada ultrapassaram os fluxos internos. Mais de metade dos 80 888 estudantes da cidade reside noutros municípios. No sentido oposto, é diminuto o número de alunos que residem no Porto e estudam noutros concelhos (CMP, 2015).

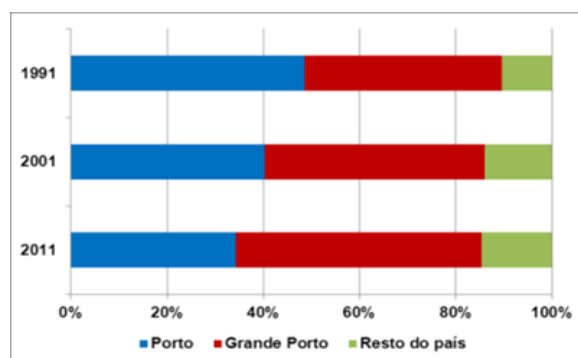


Figura 17: Evolução da distribuição da população residente no Porto, por local de trabalho (Fonte: Censos, 2011).

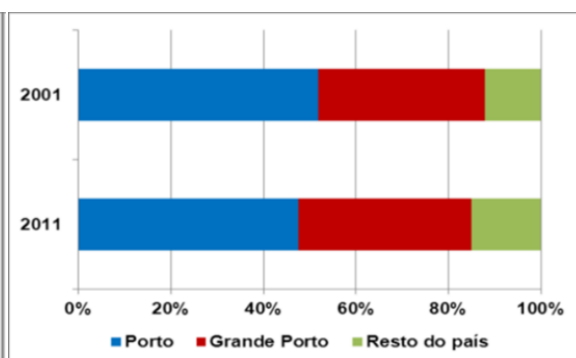


Figura 18: Evolução da população que estuda no Porto, por local de residência (Fonte: Censos, 2011).

3.4. O CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA ASPRELA

O campus universitário da Asprela localiza-se na freguesia de Paranhos, e abrange cerca de 145 hectares de área.

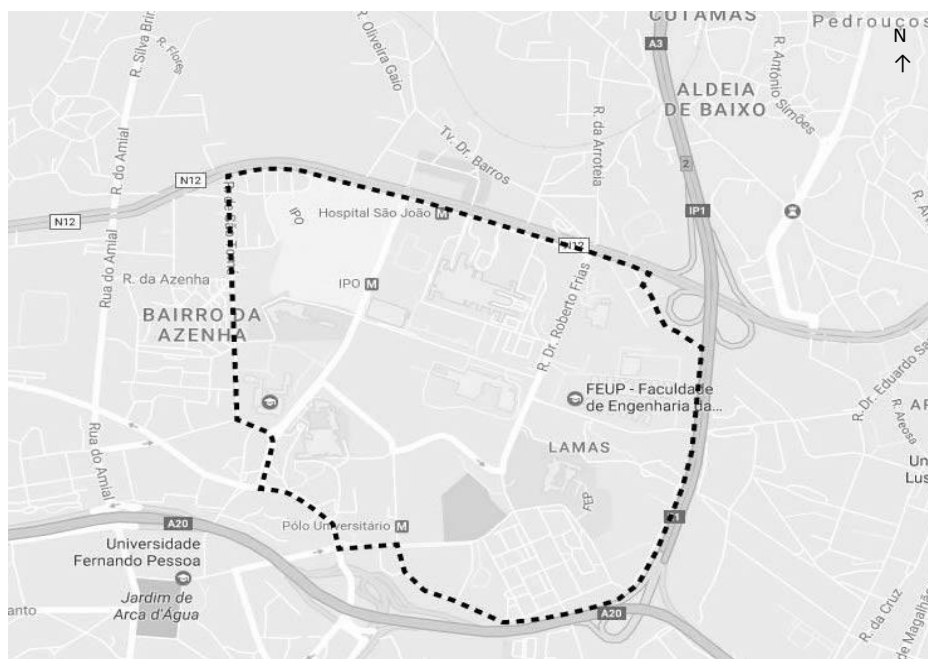


Figura 19: O Campus da Asprela da Universidade do Porto (Fonte: Google Earth, 2017).

Através da observação da carta Telles de Ferreira de 1892, pode verificar-se que esta área, pertencente à periferia da cidade Porto, era composta maioritariamente por campos agrícolas extensos e por algumas casas senhoriais. Esta carta demonstra também a presença da “Estrada da Circunvalação”, a Norte, cujo desenho ainda hoje se conserva, e de alguns aglomerados habitacionais associados aos arruamentos da cidade.

Em 1946, no Plano regulador da cidade do Porto de Almeida Garrett, pode observar-se, na zona da Asprela duas vias fundamentais internas propostas, as atuais A3 e Rua António Bernardino Almeida, que têm início na Circunvalação sendo importantes entradas na cidade. A grande presença de zonas verdes, na sua maioria campos agrícolas em terrenos privados, é ainda predominante sendo os restantes terrenos ocupados pelo início da urbanização do bairro do Outeiro, já com o projeto de implantação do Hospital de São João, ainda não construído.

Posteriormente o Plano Diretor Municipal de 1962, mais conhecido como “Plano Auzelle”, refere a necessidade destas vias se tornarem estruturantes no desenho urbano do Pólo da Asprela. A importância das vias de ligação e a entrada na cidade do Porto são demonstradas neste plano, sendo uma delas a entrada pela Avenida Fernão de Magalhães. O plano apresenta um esboço da estrada de circulação rápida (atual A3), que acabou por ser a opção tomada como ligação à VCI. Considerando as vias de atravessamento rápido e entrada e saída na cidade, o Pólo não cresceu além das mesmas, que se tornaram os seus limites.



Figura 20: Limites iniciais da Cidade Universitária do Porto (Fonte: Folha, 2012).

Em 1958, ocorre uma iniciativa promovida pelo ministério de Obras Públicas, a Cidade Universitária do Porto, com o objetivo de criar um “sentimento de comunidade académica, essencial para o estudo e à investigação científica” que era pouco evidente no sistema de ensino, sendo manifesta uma excessiva dispersão dos serviços de ensino havendo, deste modo, a necessidade da concentração dos mesmos num único Pólo.

O primeiro edifício académico a instalar-se na Asprela foi o Hospital Escolar de São João inaugurado em 1959, seguindo-se a Faculdade de Economia inaugurada em 1974.

A migração progressiva de grande parte dos serviços da Universidade do Porto e de outros serviços de ensino superior para a Asprela gerou a atual concentração de serviços, ao qual se foram juntando entidades privadas e outros serviços (Folha, 2016).

Atualmente o campus da Asprela é dominado por instituições de ensino, de saúde e investigação, sendo maioritariamente composta pelas faculdades e centros de investigação da Universidade do Porto. O Instituto Politécnico do Porto também instalou duas das suas faculdades nesta área e a Universidade Católica Portuguesa tem presente no campus o seu segundo Pólo Universitário, ligado às ciências e à saúde. Os estabelecimentos universitários existentes e as suas residências oficiais no campus são:

- Casa Museu Abel Salazar;
- *E-learning*;
- Escola Superior de Educação do Instituto Politécnico do Porto - ESE;
- Escola Superior de Enfermagem – ESEP;
- Faculdade de Ciências da Nutrição e Alimentação da Universidade do Porto-FCNAUP;
- Faculdade de Desporto da Universidade do Porto-FADEUP;
- Faculdade de Economia da Universidade do Porto-FEP;
- Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto-FEUP;
- Faculdade de Medicina da Universidade do Porto-FMUP;
- Faculdade de Medicina Dentária do Porto-FMDUP;
- Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação do Porto-FPCEUP;
- Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores da Universidade do Porto – INESC;
- Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial da Universidade do Porto - INEGI;
- Instituto de Investigação e Inovação em Saúde da Universidade do Porto-i3S.
- Instituto de Patologia e Imunologia Molecular da Universidade do Porto – IPATIMUP;
- Instituto Superior de Engenharia do Porto do Instituto Politécnico do Porto - ISEP;

- Parque de Ciência e Tecnologia da Universidade do Porto-UPTEC;
- Residência Universitária de Paranhos;
- Residência Universitária Jayme Rios de Sousa;
- Universidade Católica do Porto – Escola Superior de Biotecnologia;
- Universidade Portucalense – Infante D. Henrique;

Para além dos estabelecimentos universitários, existem outros serviços como as instituições hospitalares: o Hospital S. João e o IPO. Ambos são responsáveis por grande parte das entradas diárias no Campus da Asprela.

Devido aos serviços que se encontram nesta área, existe uma elevada afluência diária ao campus, que é possibilitada através dos acessos: estrada da circunvalação N12 e pelas autoestradas A3 e A20. Relativamente ao acesso através de transportes públicos, pode ser realizado pela linha D do Metro do Porto e pelos vários serviços de autocarros existentes (UP, 2017).

No Plano Diretor Municipal do Porto, grande parte da área é classificada como área de equipamento existente integrado em estrutura ecológica (azul) com uma envolvente urbana com habitação unifamiliar e multifamiliar (amarelo e bege) e algumas áreas urbanas em consolidação (laranja), existindo dois espaços verdes de utilização pública (verde) associados, principalmente, ao leito de cheia do troço central da ribeira da Asprela, como pode ser verificado na figura 21 (CMP, 2017).



Figura 21: PDM da Zona da Asprela (Fonte: CMP, 2017)

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA PARA A OBTENÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS

4.1. DEFINIÇÃO DA ÁREA E PONTOS DE AMOSTRAGEM

Foram realizadas 7 campanhas de amostragem que decorreram nos meses de abril, maio, junho, julho, outubro, novembro de 2015 e a última em janeiro de 2016, com o objetivo de fazer uma avaliação e caracterização da qualidade do ar no campus da Asprela através do levantamento da deposição de partículas sólidas totais.

A zona de estudo, o campus universitário da Asprela, abrange cerca de 145 hectares de área e corresponde à envolvente representada na figura 22. Nesta área, foram definidos 35 pontos de amostragem em zonas consideradas críticas: parques de estacionamento, zona de convívio de estudantes (zona elevada afluência de pessoas), zona exterior dos refeitórios e zona de baixa afluência de estudantes que serviu como o branco ou controlo.



Figura 22: Área de amostragem e localização dos pontos escolhidos (Fonte: Google Earth, 2017).

O objetivo principal foi distribuir os pontos de amostragem pelas faculdades que têm sede neste campus, de maneira a recolher informação representativa das zonas de maior afluência inseridas na área total em estudo.

A localização dos pontos de amostragem foi adaptada em muitos casos à situação do terreno devido à impossibilidade física de colocação dos coletores (ausência de postes, localização em zonas inacessíveis, etc.), assim como ao risco de serem removidas (alguns pontos de amostragem estavam localizados em zonas habitadas e consequentemente ao alcance da população local). Na tabela 5 estão descritas as coordenadas correspondentes a cada ponto escolhido.

Tabela 5: Coordenadas Geográficas e Militares dos Pontos de Amostragem (Fonte: IgeoE, 2015)

Descrição do Local da Amostra		Local	Coordenadas Geográficas		Coordenadas Militares	
			Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
FEUP	Edifícios F/G	1	41°10'40.94"N	8°35'46.87"W	467755,76	161131,59
	Biblioteca	2	41°10'39.07"N	8°35'42.16"W	467697,48	161241,06
	Parque de estacionamento P3	3	41°10'39.06"N	8°35'38.09"W	467696,67	161335,92
	Cantina	4	41°10'33.94"N	8°35'43.04"W	467539,33	161219,71
	AEFEUP	5	41°10'34.98"N	8°35'49.15"W	467572,18	161077,46
	Parque de estacionamento P1	6	41°10'41.46"N	8°35'55.66"W	467772,88	160929,12
	Cafeteria	7	41°10'43.41"N	8°35'53.30"W	467832,76	160982,12
	INESC	8	41°10'45.29"N	8°35'42.96"W	467889,47	161223,44
	Ciclovia	9	41°10'38.23"N	8°35'46.95"W	467672,17	161129,28
FEP	Parque de estacionamento docentes	10	41°10'36.69"N	8°35'57.76"W	467626,01	160877,06
	Parque de estacionamento alunos	11	41°10'32.16"N	8°35'51.80"W	467485,51	161015,23
	AEFEP	12	41°10'28.22"N	8°35'48.82"W	467363,59	161084,04
Crematório	Crematório de Paranhos	13	41°10'36.10"N	8°36'0.31"W	467608,12	160817,52
FADEUP	Relvado	14	41°10'41.84"N	8°35'57.61"W	467784,86	160881,17
	Entrada	15	41°10'42.60"N	8°36'1.43"W	467808,79	160792,49
	Parque de estacionamento	16	41°10'44.15"N	8°36'7.85"W	467857,41	160643,12
	Campo de futebol	17	41°10'43.73"N	8°36'10.64"W	467844,81	160578,02
IPATIMUP	Entrada	18	41°10'32.36"N	8°36'4.25"W	467493,24	160725,06
	Parque de estacionamento	19	41°10'34.95"N	8°36'6.12"W	467573,38	160681,91
	Relvado	20	41°10'34.88"N	8°36'10.14"W	467574,87	160011,53
ESE	Campo de ténis	21	41°10'47.55"N	8°35'52.36"W	467960,36	161004,72
	Entrada	22	41°10'49.76"N	8°35'50.31"W	468028,28	161052,86
	Parque de estacionamento	23	41°10'52.48"N	8°35'49.69"W	468112,12	161067,76
	Edifícios	24	41°10'51.08"N	8°35'46.77"W	468068,56	161135,59
	Relvado	25	41°10'48.65"N	8°35'47.70"W	467993,71	161113,51
São João	Entrada	26	41°10'53.96"N	8°36'0.96"W	468159,18	160805,34
	Pediatria	27	41°10'51.57"N	8°35'55.34"W	468084,75	160935,93
	Ginecologia/Obstetrícia	28	41°10'51.21"N	8°36'10.98"W	468075,61	160571,34
	AEFMUP	29	41°10'47.35"N	8°35'59.48"W	467955,08	160838,73
ESEP	Entrada	30	41°10'55.88"N	8°36'12.93"W	468219,92	160526,67
	Parque de estacionamento	31	41°10'56.23"N	8°36'11.04"W	468230,48	160570,78
ISEP	Entrada	32	41°10'43.15"N	8°36'23.44"W	467828,54	160279,58
	Edifícios	33	41°10'44.63"N	8°36'25.96"W	467874,51	160221,09
	Parque de estacionamento	34	41°10'43.84"N	8°36'31.25"W	467850,82	160097,66
FMDUP	FMDUP	35	41°10'29.60"N	8°36'12.51"W	467409,14	160532,07

4.2. IDENTIFICAÇÃO DAS POTENCIAIS FONTES EMISSORAS NA ÁREA EM ESTUDO



















Como foi referido anteriormente, as fontes emissoras de partículas atmosféricas podem ser naturais e/ou antropogénicas.

As naturais, que poderão ter maior impacto no campus da Asprela, são as poeiras com origem no solo, areias, poeiras das tempestades de vento, pólenes, esporos, bactérias e fibras de plantas. Assim, identificaram-se os pontos, que poderiam estar expostos a partículas deste tipo, denominando-os por “espaços verdes”. Relativamente às fontes antropogénicas, as partículas resultam das cinzas, da fuligem e de outras partículas produzidas principalmente pela combustão de carvão, do fuel-óleo na indústria nos automóveis e pelo atrito entre as rodas dos comboios e os carris, a vaporização dos metais originada pelas “faíscas” que por vezes se geram e por material de desgaste dos travões dos comboios. Agruparam-se os pontos que poderão estar em contacto com estas partículas designando-os por “zona de fumadores”, “tráfego rodoviário”, “presença de chaminés”, “passagem do metro” e “ocorrência de obras”.

4.2.1. FACULDADE DA ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO - FEUP

Na FEUP definiram-se 9 pontos para recolha de matéria particulada, correspondendo a: zona de fumadores, tráfego rodoviário, presença de chaminés e espaços verdes.



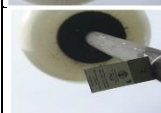



Tabela 6: Fontes emissoras de partículas por ponto de amostragem na FEUP

		1. Edifícios F/G <ul style="list-style-type: none"> • Zona de fumadores • Tráfego rodoviário
		2. Biblioteca <ul style="list-style-type: none"> • Zona de fumadores • Tráfego rodoviário
		3. Parque de Estacionamento P3 <ul style="list-style-type: none"> • Tráfego rodoviário
		4. Cantina <ul style="list-style-type: none"> • Presença de chaminés • Tráfego rodoviário
		5. AEFEUP <ul style="list-style-type: none"> • Zona de fumadores
		6. Parque de Estacionamento P1 <ul style="list-style-type: none"> • Tráfego rodoviário
		7. Cafetaria <ul style="list-style-type: none"> • Presença de chaminés • Tráfego rodoviário
		8. INESC <ul style="list-style-type: none"> • Tráfego rodoviário
		9. Ciclovía <ul style="list-style-type: none"> • Espaço verde • Tráfego rodoviário

4.2.2. FACULDADE DE ECONOMIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO – FEP

Na FEP definiram-se 3 pontos para recolha de matéria particulada, correspondendo a: tráfego rodoviário e espaços verdes.


Tabela 7: Fontes emissoras de partículas por ponto de amostragem na FEP

		10. Parque de estacionamento docentes <ul style="list-style-type: none"> • Tráfego rodoviário
		11. Parque de estacionamento alunos <ul style="list-style-type: none"> • Tráfego rodoviário
		12. AEFEP <ul style="list-style-type: none"> • Espaço Verde

4.2.3. CREMATÓRIO DE PARANHOS

No Crematório de Paranhos definiu-se 1 ponto para recolha de matéria particulada, correspondendo a: tráfego rodoviário e presença de chaminés.





Tabela 8: Fontes emissoras de partículas por ponto de amostragem no Crematório de Paranhos

	13. Crematório de Paranhos <ul style="list-style-type: none">• Presença de chaminés• Tráfego Rodoviário
---	---

4.2.4. FACULDADE DE DESPORTO DA UNIVERSIDADE DO PORTO – FADEUP

Na FADEUP definiram-se 4 pontos para recolha de matéria particulada, correspondendo a: Espaço verde, zona de fumadores e tráfego rodoviário.

Tabela 9: Fontes emissoras de partículas por ponto de amostragem na FADEUP

	14. Relvado <ul style="list-style-type: none">• Espaço verde
	15. Entrada <ul style="list-style-type: none">• Zona de fumadores
	16. Parque de estacionamento <ul style="list-style-type: none">• Tráfego rodoviário
	17. Campo de futebol <ul style="list-style-type: none">• Espaço verde

4.2.5. IPATIMUP

No IPATIMUP definiram-se 3 pontos para recolha de matéria particulada, correspondendo a: Tráfego rodoviário, presença de chaminés e espaço verde.

Tabela 10: Fontes emissoras de partículas por ponto de amostragem no IPATIMUP

	18. Entrada <ul style="list-style-type: none">• Tráfego rodoviário
	19. Parque de estacionamento <ul style="list-style-type: none">• Tráfego rodoviário• Presença de chaminés
	20. Relvado <ul style="list-style-type: none">• Espaço verde

4.2.6. ESCOLA SUPERIOR DE EDUCAÇÃO DO INSTITUTO POLITÉCNICO DO PORTO – ESE/IPP

Na ESE definiram-se 5 pontos para recolha de matéria particulada, correspondendo a: Espaço verde, tráfego rodoviário, zona de fumadores, presença de chaminés e espaço verde.





Tabela 11: Fontes emissoras de partículas por ponto de amostragem na ESE/IPP

	21. Campo de ténis <ul style="list-style-type: none">• Espaço verde• Tráfego rodoviário
	22. Entrada <ul style="list-style-type: none">• Zona de fumadores• Espaço verde
	23. Parque de estacionamento <ul style="list-style-type: none">• Tráfego rodoviário
	24. Edifícios <ul style="list-style-type: none">• Espaço verde• Zona de fumadores
	25. Relvado <ul style="list-style-type: none">• Espaço verde• Presença de chaminés

4.2.7. HOSPITAL DE SÃO JOÃO E FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DO PORTO – FMUP

No HSJ definiram-se 4 pontos para recolha de matéria particulada, correspondendo a: Espaço verde, tráfego rodoviário, zona de fumadores, presença de chaminés e ocorrência de obras.



Tabela 12: Fontes emissoras de partículas por ponto de amostragem no Hospital de São João/FMUP

	26. Entrada <ul style="list-style-type: none">• Zona de fumadores• Tráfego rodoviário
	27. Edifício de Pediatria <ul style="list-style-type: none">• Ocorrência de obras• Presença de chaminés
	28. Edifício de Ginecologia/Obstetrícia <ul style="list-style-type: none">• Tráfego rodoviário
	29. AEFMUP <ul style="list-style-type: none">• Ocorrência de obras• Tráfego rodoviário

4.2.8. ESCOLA SUPERIOR DE ENFERMAGEM DO PORTO

Na ESEP definiram-se 2 pontos para recolha de matéria particulada, correspondendo a: Espaço verde e tráfego rodoviário.

Tabela 13: Fontes emissoras de partículas por ponto de amostragem na ESEP

		30. Entrada <ul style="list-style-type: none"> • Espaço verde • Tráfego rodoviário • Passagem do metro
		31. Parque de estacionamento <ul style="list-style-type: none"> • Tráfego rodoviário

4.2.9. INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO – ISEP

No ISEP definiram-se 3 pontos para recolha de matéria particulada, correspondendo a: Espaço verde, zona de fumadores e tráfego rodoviário.



Tabela 14: Fontes emissoras de partículas por ponto de amostragem no ISEP

		32. Entrada <ul style="list-style-type: none"> • Espaço verde • Tráfego rodoviário
		33. Edifícios <ul style="list-style-type: none"> • Zona de fumadores • Tráfego rodoviário
		34. Parque de Estacionamento <ul style="list-style-type: none"> • Tráfego rodoviário

4.2.10. FACULDADE DE MEDICINA DENTÁRIA – FMDUP

Na FMDUP definiu-se 1 ponto para recolha de matéria particulada, correspondendo a: tráfego rodoviário.

Tabela 15: Fontes emissoras de partículas por ponto de amostragem na FMDUP

		35. Entrada <ul style="list-style-type: none"> • Tráfego Rodoviário
---	---	---

4.3. DESCRIÇÃO DAS CAMPANHAS DE AMOSTRAGEM

A metodologia implementada nas campanhas de amostragem, bem como o procedimento laboratorial das poeiras recolhidas, teve por base a norma francesa homologada NF X 43-007 – “*Pollution atmosphérique, mesure des «retombées» par la méthode des «plaquettes de dépôt»*”.

A amostragem das partículas consistiu na exposição de placas finas em aço inoxidável, com área superficial útil de 50 cm² colocadas fixas na direção horizontal.

Previamente à colocação das placas nos pontos de amostragem definidos procedeu-se à limpeza das mesmas utilizando um hidrocarboneto clorado imiscível em água, o

diclorometano, seguindo-se um período de secagem em estufa a uma temperatura de 105 °C, como o previsto na norma. As placas foram identificadas com o respetivo número do ponto de amostragem, num papel que foi devidamente colocado após a secagem das placas. Para transportar as placas e para simultaneamente diminuir os riscos de contaminação, as placas foram retiradas da embalagem hermética e revestidas com uma mistura de polímeros lineares resistentes a uma gama de temperaturas entre os -60 °C e os 250 °C, o dimetil polissiloxano.



Figura 23: Exemplo de identificação das placas. Figura 24: Armazenamento das placas nas embalagens herméticas.

Antes da colocação, as placas são completamente cobertas com a resina para que toda a superfície útil seja revestida, visto que a área de deposição é um dos parâmetros usados no cálculo do fluxo médio de deposição das partículas.

A colocação das placas no terreno deve respeitar rigorosamente a superfície útil de exposição tentando não modificar ou interferir no circuito normal das partículas. A placa deve encontrar-se a uma altura mínima de 1,5 metros do chão e estar exposta num local onde esteja sujeita às variáveis climatológicas, devendo evitar-se, por isso, zonas muito acidentadas, terrenos de construção muito elevados e afastados de vias de circulação, tais como estradas ou caminhos-de-ferro. Para este estudo adotou-se sempre a altura média de 1,5 metros do solo para todas as placas de deposição.

A norma prevê que a duração da exposição seja de 14 dias com ± 1 dia de tolerância para zonas pouco poluídas em que os valores de partículas depositadas sejam inferiores a 30 g/m²/mês, e de 7 dias com ± 1 dia de tolerância para zonas muito poluídas. No entanto, estes limites podem ser extrapolados em situações excecionais onde haja fenómenos de extrema deposição, ou pelo contrário fenómenos de pouca deposição. Para este estudo foi estipulada uma duração média de um mês devido à quantidade de partículas depositadas, bem como a fatores logísticos no processo de recolha e de colocação das placas. Foi feito o registo das horas de colocação bem como da sua coordenada geográfica.

Por razões logísticas, em certos casos, não foi possível respeitar a duração de 1 mês como período de exposição das placas à deposição das partículas. A 4ª e 6ª campanha de amostragem duraram mais dias do que as restantes, devido a decorrem em períodos de férias escolares, o que impossibilitou a recolha das placas em consequência do encerramento das faculdades.

O ponto número 35, correspondente à placa localizada na entrada da Faculdade de Medicina Dentária, foi retirado do estudo a partir da 3ª campanha de amostragem. Esta decisão

baseou-se no constante desaparecimento da placa do local, o que impedia o processo de recolha neste ponto.

Na tabela 16 são apresentados os parâmetros temporais das 7 campanhas de amostragem.

Tabela 16: Parâmetros temporais das campanhas de amostragem

	1ª Campanha Amostragem		2ª Campanha Amostragem		3ª Campanha Amostragem		4ª Campanha Amostragem		5ª Campanha Amostragem		6ª Campanha Amostragem		7ª Campanha Amostragem	
Local	Data Colocação	Hora (h)	Data Colocação	Hora (h)	Data Colocação	Hora (h)	Data Colocação	Hora (h)	Data Colocação	Hora (h)	Data Colocação	Hora (h)	Data Colocação	Hora (h)
1	13/04/2015	14:10:00	11/05/2015	09:22:00	15/06/2015	08:47:00	20/07/2015	14:05:00	07/10/2015	16:15:00	16/11/2015	08:44:00	15/01/2016	08:45:00
2	13/04/2015	14:15:00	11/05/2015	09:35:00	15/06/2015	09:17:00	20/07/2015	14:11:00	07/10/2015	16:20:00	16/11/2015	08:54:00	15/01/2016	08:50:00
3	13/04/2015	14:20:00	11/05/2015	09:46:00	15/06/2015	09:12:00	20/07/2015	14:18:00	07/10/2015	16:30:00	16/11/2015	09:00:00	15/01/2016	08:57:00
4	13/04/2015	14:25:00	11/05/2015	09:55:00	15/06/2015	09:05:00	20/07/2015	14:25:00	07/10/2015	16:35:00	16/11/2015	09:06:00	15/01/2016	09:04:00
5	13/04/2015	14:30:00	11/05/2015	10:00:00	17/06/2015	10:15:00	20/07/2015	14:32:00	07/10/2015	16:40:00	16/11/2015	09:12:00	15/01/2016	09:10:00
6	13/04/2015	15:25:00	11/05/2015	10:10:00	15/06/2015	10:10:00	20/07/2015	15:40:00	08/10/2015	10:15:00	16/11/2015	15:38:00	15/01/2016	16:38:00
7	13/04/2015	15:30:00	11/05/2015	10:15:00	15/06/2015	10:05:00	20/07/2015	15:45:00	08/10/2015	10:10:00	16/11/2015	15:33:00	15/01/2016	16:33:00
8	13/04/2015	15:35:00	11/05/2015	10:20:00	15/06/2015	09:20:00	21/07/2015	15:40:00	08/10/2015	09:30:00	16/11/2015	14:50:00	15/01/2016	15:58:00
9	13/04/2015	15:40:00	11/05/2015	10:38:00	15/06/2015	08:55:00	20/07/2015	15:33:00	12/10/2015	11:20:00	16/11/2015	10:20:00	15/01/2016	10:00:00
10	13/04/2015	14:40:00	11/05/2015	10:45:00	16/06/2015	11:10:00	20/07/2015	15:25:00	07/10/2015	16:50:00	16/11/2015	09:20:00	15/01/2016	09:52:00
11	13/04/2015	14:45:00	11/05/2015	10:55:00	16/06/2015	11:20:00	20/07/2015	14:40:00	07/10/2015	16:55:00	16/11/2015	09:30:00	15/01/2016	09:18:00
12	13/04/2015	14:50:00	11/05/2015	11:00:00	16/06/2015	11:27:00	20/07/2015	14:46:00	07/10/2015	17:05:00	16/11/2015	09:35:00	15/01/2016	09:23:00
13	16/04/2015	11:20:00	14/05/2015	15:50:00	17/06/2015	10:00:00	20/07/2015	14:59:00	07/10/2015	17:15:00	16/11/2015	09:45:00	15/01/2016	09:31:00
14	13/04/2015	15:00:00	11/05/2015	11:27:00	17/06/2015	09:05:00	21/07/2015	14:45:00	12/10/2015	11:10:00	20/11/2015	10:17:00	19/01/2016	17:44:00
15	13/04/2015	15:05:00	11/05/2015	11:20:00	17/06/2015	09:10:00	21/07/2015	14:50:00	12/10/2015	11:00:00	20/11/2015	10:15:00	19/01/2016	10:39:00
16	13/04/2015	15:10:00	14/05/2015	16:10:00	17/06/2015	09:15:00	21/07/2015	14:55:00	12/10/2015	10:50:00	20/11/2015	10:00:00	19/01/2016	17:29:00
17	13/04/2015	15:15:00	14/05/2015	16:00:00	17/06/2015	09:20:00	21/07/2015	15:00:00	12/10/2015	10:55:00	20/11/2015	10:05:00	19/01/2016	17:33:00
18	16/04/2015	09:30:00	14/05/2015	11:05:00	16/06/2015	10:55:00	20/07/2015	15:05:00	07/10/2015	17:25:00	16/11/2015	09:44:00	15/01/2016	09:36:00
19	16/04/2015	09:35:00	14/05/2015	11:10:00	16/06/2015	11:00:00	20/07/2015	15:10:00	07/10/2015	17:50:00	16/11/2015	10:00:00	15/01/2016	09:40:00
20	16/04/2015	09:40:00	14/05/2015	11:20:00	16/06/2015	11:05:00	20/07/2015	15:14:00	07/10/2015	18:00:00	16/11/2015	10:05:00	15/01/2016	09:44:00
21	13/04/2015	15:50:00	14/05/2015	12:55:00	15/06/2015	10:00:00	21/07/2015	15:10:00	08/10/2015	10:00:00	16/11/2015	15:25:00	15/01/2016	16:27:00
22	16/04/2015	09:50:00	14/05/2015	13:05:00	15/06/2015	09:40:00	21/07/2015	15:15:00	08/10/2015	09:40:00	16/11/2015	15:05:00	15/01/2016	16:22:00
23	16/04/2015	09:55:00	14/05/2015	16:25:00	15/06/2015	09:45:00	21/07/2015	15:20:00	08/10/2015	09:45:00	16/11/2015	15:15:00	15/01/2016	16:17:00
24	16/04/2015	10:00:00	14/05/2015	16:40:00	15/06/2015	09:50:00	21/07/2015	15:25:00	08/10/2015	09:55:00	16/11/2015	15:20:00	15/01/2016	16:12:00
25	16/04/2015	10:05:00	14/05/2015	13:10:00	15/06/2015	09:35:00	21/07/2015	15:30:00	08/10/2015	09:35:00	16/11/2015	15:00:00	15/01/2016	16:07:00
26	16/04/2015	10:10:00	14/05/2015	12:40:00	15/06/2015	09:45:00	21/07/2015	08:55:00	12/10/2015	10:10:00	20/11/2015	09:05:00	19/01/2016	16:36:00
27	16/04/2015	10:20:00	14/05/2015	12:50:00	15/06/2015	09:40:00	21/07/2015	08:50:00	12/10/2015	10:05:00	20/11/2015	09:00:00	19/01/2016	16:32:00
28	16/04/2015	10:25:00	14/05/2015	12:30:00	16/06/2015	09:55:00	21/07/2015	09:05:00	12/10/2015	10:15:00	20/11/2015	09:15:00	19/01/2016	16:44:00
29	16/04/2015	10:30:00	11/05/2015	11:10:00	16/06/2015	09:35:00	22/07/2015	08:45:00	12/10/2015	10:00:00	20/11/2015	08:55:00	19/01/2016	16:26:00
30	13/04/2015	15:50:00	14/05/2015	12:20:00	17/06/2015	09:40:00	21/07/2015	09:15:00	12/10/2015	10:20:00	20/11/2015	09:20:00	19/01/2016	16:50:00
31	16/04/2015	10:40:00	14/05/2015	12:10:00	16/06/2015	10:05:00	21/07/2015	09:18:00	12/10/2015	10:25:00	20/11/2015	09:25:00	19/01/2016	17:12:00
32	16/04/2015	10:45:00	14/05/2015	11:40:00	16/06/2015	10:15:00	21/07/2015	09:28:00	12/10/2015	09:28:00	20/11/2015	09:37:00	19/01/2016	17:04:00
33	16/04/2015	10:50:00	14/05/2015	11:50:00	16/06/2015	10:20:00	21/07/2015	09:34:00	12/10/2015	09:34:00	20/11/2015	09:45:00	19/01/2016	17:16:00
34	16/04/2015	10:55:00	14/05/2015	12:00:00	16/06/2015	10:30:00	21/07/2015	09:40:00	12/10/2015	10:35:00	20/11/2015	09:50:00	19/01/2016	17:12:00
35	16/04/2015	11:10:00	14/05/2015	11:30:00	16/06/2015	10:45:00								

4.4. PROCEDIMENTO LABORATORIAL PARA A DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE DEPOSIÇÃO

No procedimento laboratorial obteve-se o peso das partículas depositadas e recolhidas nas placas, para posterior cálculo do fluxo de deposição em função do tempo e área exposta.

No laboratório pesou-se e tarou-se a balança para cada filtro utilizado (membranas em Teflon hidrofóbico, 47 mm, 0.22 μm) de modo a este não influenciar o peso das partículas. De seguida lavou-se a placa com diclorometano para diluir a mistura de polímeros lineares. A escolha desta solução de lavagem (prevista na norma) baseou-se no facto de não haver interação entre os compostos químicos, nem destes com as poeiras, para que o filtro se mantenha intacto e não ocorra a colmatagem do sistema de filtragem.

Após a lavagem, a separação das poeiras foi feita por filtração a vácuo, num funil de *Buchner* (equipamento laboratorial para filtrar a baixas pressões) ficando retidos os particulados na superfície de filtragem. A pressão na bomba de vácuo foi mantida até se observar que a membrana se encontra seca e sem vestígios da solução orgânica. Posteriormente, o filtro foi pesado e registou-se o seu valor (NF X43-007, 2008).



Figura 25: Equipamento laboratorial utilizado para a filtração das amostras.

4.5. METODOLOGIA DE ANÁLISE E IDENTIFICAÇÃO ELEMENTAR

Para a análise e identificação elementar das partículas atmosféricas foi utilizada a Microscopia Eletrónica de Varrimento (MEV). É uma técnica poderosa de observação de superfícies que utiliza um feixe de eletrões com uma determinada energia para bombardear a superfície do material a analisar, permitindo desta forma obter imagens a elevadas ampliações. A interação entre esse feixe e os materiais à superfície permite obter um vasto conjunto de informação, que após processamento se transforma em imagens, espectros e mapas de análise química, imagens da composição física, entre outros.

4.5.1. PRÍNCIPIO DE FUNCIONAMENTO

O princípio de funcionamento baseia-se na incidência de um feixe de eletrões num ponto da superfície da amostra-alvo e a subsequente recolha dos sinais eletrónicos emitidos pelo material-alvo. As amostras são percorridas sequencialmente por um feixe de eletrões acelerado, por uma tensão que varia entre 0 e 40 KV, focado através de um sistema de lentes eletromagnéticas. Da interação do feixe eletrónico com a amostra resulta a emissão de diversos tipos de radiação e eletrões, entre os quais os eletrões secundários (ES) utilizados na formulação da imagem da amostra. Os eletrões secundários são eletrões da amostra que sofrem excitação

e “escapam-se” da superfície. Os eletrões retro difundidos (ER) permitem a distinção de regiões de átomos leves e pesados na amostra.

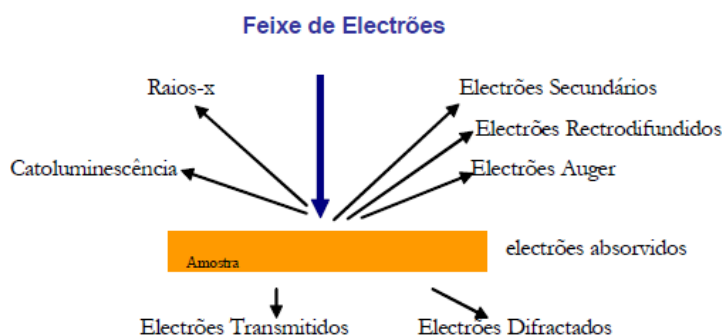


Figura26: Tipos de radiação emitida por uma amostra quando submetida a um feixe de eletrões
(Fonte: Monteiro, 2005).

Os eletrões secundários têm origem nos processos de interação não elástica dos eletrões primários e retro difundidos com os eletrões de maior energia de ligação. A observação de imagens obtidas através da deteção de ES tem forte contraste topográfico, sendo o contraste uma consequência da emissão dos eletrões retro difundidos, cuja intensidade é crescente com o número atómico. O facto de os ES derivarem de um volume de interação pequeno torna possível a obtenção de excelentes imagens, possibilitando a observação do contraste topográfico.

Os eletrões retrodifundidos identificam os eletrões da superfície da amostra com energia elevada. A emissão de ER resulta de interação elástica ou de perdas de energia. A utilização dos eletrões retro difundidos permite a observação clara da rugosidade das amostras em estudo, devido ao efeito de sombra. Os ER não são afetados por efeitos locais de má condutividade dos materiais. Na análise destes eletrões é necessário ter especial atenção à localização amostra/detetor, pois deste posicionamento depende grande parte da qualidade referente ao contraste topográfico.

Devido ao facto de os ER serem provenientes de camadas profundas do material, a resolução das imagens obtidas tem grande dependência do feixe incidente e do número atómico médio local do material. A resolução lateral desta técnica tem um valor mínimo que está relacionado com o diâmetro da sonda eletrónica, no entanto o seu valor é determinado pela extensão do volume de interação do feixe eletrónico primário – condicionado pela energia e pelo número atómico da amostra.

As amostras para poderem ser caracterizadas por microscopia eletrónica têm de satisfazer as seguintes condições: apresentar boa condutividade elétrica superficial, suportar o vácuo (a técnica SEM utiliza um feixe de eletrões, em vez da luz que é utilizada na microscopia ótica, o que torna necessário a utilização de vácuo), estabilidade física e química nas condições de observação/interação com o feixe eletromagnético. A análise simultânea dos sinais recolhidos pelos detetores permite caracterizar cada ponto da amostra em termos de: topografia (ES e ER), número atómico (ER), propriedades cristalinas (ER), composição química elementar (ER), campos magnéticos (ER), orientação cristalina local da amostra (ER).

A conjugação das técnicas SEM/EDS permite obter imagens tridimensionais da amostra e mapas de composição dos elementos à superfície da amostra (Monteiro, 2005).

4.5.2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os estudos foram realizados no Laboratório de Microscopia Eletrónica de Varrimento e Microanálise por Raios X da Unidade de Imagem, Microestrutura e Microanálise - IMICROS no Centro de Materiais da Universidade do Porto (CEMUP). O equipamento utilizado foi um Microscópio Eletrónico de Varrimento Ambiental, de alta resolução (*Schottky*), com Microanálise por Raios X e Análise de Padrões de Difração de Elétrões Retro fundidos: FEG-ESEM/EDS/EBSD.



Figura 27: Microscópio Eletrónico de Varrimento ambiental de alta resolução-Schottky (Fonte: CEMUP, 2017).

Realizaram-se duas sessões de análise das amostras: a primeira correspondente às do mês de maio, onde foram analisadas 33 amostras e a segunda correspondente ao mês de junho, analisando 7 amostras. A escolha da segunda e terceira campanha, para a identificação elementar das amostras, foi feita com base nas que registaram valores mais elevados de fluxos de deposição.

A preparação das amostras para análise foi realizada através da seleção de uma porção de filtro, contendo uma quantidade significativa de partículas retidas, sendo colocada posteriormente numa placa de cobre para ser introduzida no microscópio.

4.6. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS OBTIDOS

Os métodos clássicos de análise estatística de dados supõem habitualmente que as realizações das variáveis aleatórias sejam independentes entre si, ou seja, que observações vizinhas não exercem influências umas sobre as outras. Contrariamente, os fenómenos naturais apresentam-se com uma certa estruturação nas variações entre vizinhos. Desta forma, pode dizer-se que as variações não são aleatórias e, portanto, apresentam um certo grau de dependência espacial. No presente trabalho foram explorados métodos geoestatísticos para a análise do fluxo de deposição de matéria particulada no campus da Asprela, tendo como objetivos a modelação e a caracterização espacial do fenómeno da dispersão. Inicialmente, são abordados alguns conceitos básicos da teoria geoestatística. De seguida apresenta-se a aplicação das diversas etapas do método de krigagem ordinária aos dados em estudo, nomeadamente a análise exploratória, a construção do variograma, descrição do modelo utilizado e da respetiva validação.

4.6.1. ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Antes de se iniciar o processo de modelação geoestatístico, é necessário avaliar o comportamento dos dados disponíveis, realizando uma análise exploratória desses dados.

A estatística descritiva desenvolveu um conjunto de medidas de síntese e de representações gráficas cujo objetivo é descrever e resumir um conjunto de dados e pesquisar as estruturas e irregularidades neles presentes.

Como os valores de um conjunto de dados geralmente estão dispersos é necessário analisar as suas tendências, isto é, verificar se os valores têm tendência para se agruparem em torno de um valor central. Estas medidas são designadas medidas de localização ou de tendência central, pois representam os fenómenos pelos seus valores centrais, sendo a média e mediana as mais utilizadas.

Quando os dados de um conjunto não se encontram todos igualmente distribuídos em torno da média é necessário utilizar outras medidas estatísticas que nos forneçam uma informação mais completa sobre a “forma” da distribuição. A amplitude, variância e desvio padrão são alguns exemplos destas medidas denominadas por de medidas de dispersão.

Para analisar o comportamento conjunto de duas ou mais variáveis, averiguando se existe algum tipo de associação entre si, utiliza-se o gráfico de dispersão. O gráfico de dispersão dá-nos uma ideia do tipo de relacionamento entre duas variáveis. Se a relação entre essas variáveis for do tipo linear, pode medir-se o grau de associação através de duas medidas: covariância e coeficiente de correlação, denominadas como medidas de associação. A covariância é uma medida do grau de correlação linear entre duas variáveis e pode ser utilizada para medir o grau de relacionamento entre elas.

O coeficiente de correlação linear é também medido entre duas variáveis sendo preferível à covariância por ser mais preciso e independente das unidades de medida X e Y, variando entre -1 e 1. A covariância e o coeficiente de correlação medem a intensidade da relação linear existente entre duas variáveis aleatórias (Guimarães, 2009).

4.6.2. GEOESTATÍSTICA

A teoria da geoestatística surge na década de 60 quando Georges Matheron, ao analisar dados de concentração de ouro, concluiu que havia vantagem em considerar a localização geográfica e a dependência espacial entre os dados (Monego et al., 2007).

Nos finais dos anos 70 e início dos anos 80, um outro campo de aplicação marca a etapa de evolução da geoestatística: o ambiente. Nesta fase, os modelos geoestatísticos assimilam as especificidades dos dados relativos às ciências do ambiente, nomeadamente os da poluição atmosférica, poluição dos solos e qualidade da água em aquíferos subterrâneos (Cressie, 1990). Foi também em meados dos anos 80, que ocorreu outro grande salto na evolução do corpo metodológico geoestatístico e que surge ligado ao domínio dos petróleos, que nessa altura, detinha um grande potencial de financiamento da investigação (Soares, 2014).

Atualmente a geoestatística incorpora um vasto conjunto de teorias e metodologias, sendo aplicada, com variados propósitos e em diversos domínios das ciências e da indústria, em diferentes tipos de fenómenos espacial e/ou temporalmente dependentes (Carvalho, 2002).

Os fenómenos espaciais nas ciências da Terra e do ambiente têm normalmente algumas especificidades próprias que os distinguem dos demais corpos que podem ser objeto da

modelização matemática e física: existe normalmente um acentuado grau de incerteza ligado ao seu conhecimento e são únicos como realizações espaciais, o que significa que é impossível a repetição da amostra ou observação num dado espaço e num dado momento.

Estas características constituem as razões principais para que os dados provenientes daqueles fenómenos espaciais tivessem estado afastados do âmbito da estatística clássica: por um lado não são realizações de uma variável aleatória, pois são correlacionados, e por outros não preenchem os requisitos de um processo aleatório ergódico e estacionário, pois constituem uma só realização (Soares, 2014).

Logo, é necessário definir as variáveis envolvidas de acordo com o fenómeno espacial que se pretende analisar. Estas variáveis têm o nome de variáveis regionalizadas $Z(x)$, e têm 2 componentes fundamentais, como foi referido anteriormente, a componente aleatória devido à sua irregularidade e singularidade de ponto para ponto, e a componente estrutural devido as correlações existentes entre pontos no espaço motivadas pelo fenómeno em estudo.

A representação x_1, x_2, \dots, x_n são as posições geográficas dos locais onde se amostram as variáveis regionalizadas, e $Z(x_1), Z(x_2) \dots Z(x_n)$ são, respetivamente, as realizações de uma função aleatória intrínseca a cada uma das variáveis (Lourenço, 2011).

A geoestatística tem como objetivo a caracterização da dispersão espacial e espaço-temporal das grandezas que definem a quantidade e a qualidade de recursos naturais, tais como florestas, recursos geológicos, hidrológicos, ecológicos, ou outros fenómenos espaciais em que os atributos manifestem uma certa estrutura no espaço e/ou no tempo. O seu corpo metodológico consiste num conjunto de instrumentos estatísticos que quantificam a continuidade espacial da grandeza em estudo, em modelos de interpolação espacial tendo por base a sua variabilidade estrutural e em modelos de simulação estocástica que quantificam a incerteza ligada ao fenómeno espacial (Soares, 2014).

4.6.3. VARIOGRAFIA

A análise do (semi)variograma constitui uma etapa muito importante, que antecede o uso de modelos geoestatísticos na caracterização dos fenómenos espaciais, na medida em que o semivariograma caracteriza a correlação espacial, tornando-se assim uma ferramenta útil para medir a dependência espacial entre as amostras e a continuidade espacial. Matematicamente, o variograma é representado por (Eq. 1):

$$2\gamma(h) = \text{Var}\{Z(x+h) - Z(x)\} \quad \text{Eq. 1}$$

em que $Z(x)$ é o valor da amostra x e $Z(x+h)$ é o valor da amostra distanciada de h da amostra x . Logo, o variograma é a função que corresponde à variância em função das distâncias entre pares de amostras. Sendo a variância uma medida do grau de dependência espacial entre as amostras, é definida como (Eq. 2):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad \text{Eq. 2}$$

em que $\gamma(h)$ corresponde à (semi)variância para o intervalo h , $N(h)$ é o número de pares de amostras cuja distância é igual a h e a diferença entre $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$, diz respeito à diferença entre um par de amostras à distância h uma da outra. O gráfico de $\gamma(h)$ em função de h representa o semivariograma ou variograma (Oliveira, 2009).

Nos semivariogramas, os pares de amostras distanciados de h estão tão mais correlacionados entre si (apresentam semivariâncias tanto menores), quanto menor for a distância h entre eles. Assim, a dependência espacial entre as amostras também varia com a

direção, podendo ser obtidos vários semivariogramas, onde a cada um está associada uma direção previamente definida (Issaks & Srivastava, 1989).

Os semivariogramas expressam o comportamento espacial da variável regionalizada evidenciando:

- Alcance ou Amplitude (a): corresponde ao tamanho da zona de influência em torno de uma amostra. Assim toda a amostra cuja distância ao ponto a ser estimado for menor ou igual ao alcance, fornece informações sobre o ponto. A amplitude é a distância que separa o campo estruturado (amostras correlacionadas) do campo aleatório (amostras independentes);
- Patamar (C): é o valor da variância no qual o variograma se estabiliza. Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras pois a variância da diferença entre os pares das amostras, $\text{Var}[Z(x) - Z(x+h)]$, torna-se invariante com a distância;
- Efeito Pepita (C_0): o valor da função variograma na origem ($h=0$). Teoricamente, este valor deveria ser zero pois duas amostras recolhidas no mesmo ponto deveriam apresentar o mesmo valor. O efeito pepita é atribuído a erros de medição ou ao fato de que os dados não foram recolhidos em intervalos suficientemente pequenos para mostrar o comportamento espacial subjacente ao fenómeno em estudo;
- Variância espacial: diferença entre a variância e o efeito pepita (Guimarães, 2009).

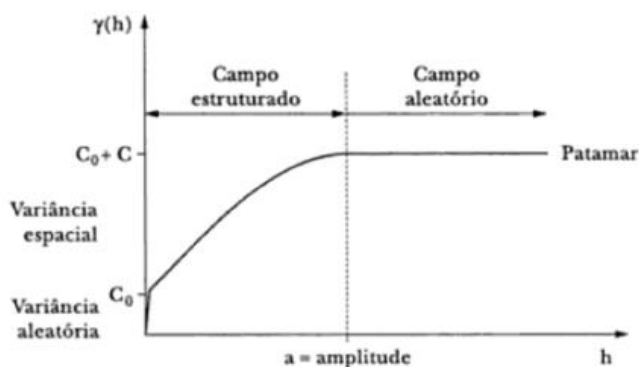


Figura 28: Semivariograma experimental (Fonte: Guimarães, 2009).

Após a construção do variograma experimental, é necessário determinar um modelo matemático que melhor se ajuste ao comportamento da dependência espacial da grandeza em causa. Os modelos matemáticos que são habitualmente utilizados nos estudos geoestatísticos são: o modelo esférico, o modelo exponencial, o modelo gaussiano e o modelo de potência (Soares, 2014).

Na maioria dos casos, o comportamento de um variograma varia com a direção em que é calculado, dizendo-se então que estamos em presença de fenómenos anisótropos, com direções preferenciais de variabilidade, designando-se por direção principal a que apresenta maior continuidade. Caso contrário, ou seja, se o fenómeno apresenta um comportamento semelhante nas várias direções, este designa-se por isotrópico (Monego et al., 2007).

4.6.4. KRIGAGEM ORDINÁRIA

Nas ciências da Terra, para estimar valores das variáveis regionalizadas num suporte desconhecido, considerado homogêneo para a variável a estimar, é comum o recurso a um conjunto de processos genericamente designados por processos de krigagem, como

homenagem aos trabalhos desenvolvidos por Krige, que aplicou ponderadores que traduziam as relações espaciais da variável amostrada. Deste conjunto, o processo mais utilizado é a krigagem ordinária (Luís, 2004).

A interpolação espacial é o procedimento utilizado para estimar valores de uma ou mais variáveis em locais onde a informação não existe nem é conhecida a partir de pontos de medições localizados na mesma área ou região. Por sua vez, quando a estimação de variáveis é feita em locais fora da área abrangida pela área de amostragem, o processo é chamado de extrapolação. A krigagem é um método geoestatístico que consiste num conjunto de técnicas de interpolação e previsão de superfícies com base em modelos estruturais de correlação espacial das variáveis regionalizadas (Lourenço, 2011).

A krigagem ordinária é um estimador “BLUE” (*best linear unbiased estimator*). É considerado como linear visto que as suas estimativas são combinações lineares ponderadas das medidas. É considerado como não enviesado pois procura que a média dos erros de estimação seja igual a zero, e é considerado como o melhor porque pretende que a variância dos erros de estimação seja mínima (Monego et al., 2007).

A interpolação pelo método de krigagem é obtida através das distâncias ponderadas e por parâmetros estruturais. Estes parâmetros são definidos através do peso atribuído a cada um dos pontos à volta do ponto a estimar e são obtidos a partir do modelo variográfico escolhido para ajustar o variograma experimental.

A equação geral para o estimador de krigagem ordinária é a seguinte (Eq. 3):

$$\hat{v}(x_o) = \sum_{j=1}^n w_j v(x_j). \quad \text{Eq.3}$$

em que:

- x_o : estimativa para um determinado ponto desconhecido;
- $\hat{v}(x_o)$: valor estimado;
- j : ponto estimante;
- w : peso determinado pelo ajuste do variograma experimental.

Desta forma, a distribuição do erro será (Eq. 4):

$$R(x_o) = \hat{v}(x_o) - v(x_o) = \sum_{j=1}^n w_j v(x_j) - v(x_o) \quad \text{Eq. 4}$$

A expressão de erro médio é dada por:

$$A = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^n R(x_j) \quad \text{Eq. 5}$$

no qual A representa a esperança matemática que se pretende que seja zero (Eq. 6):

$$E\{A\} = E\left\{\frac{1}{N} \sum E\{R(x_j)\}\right\} = 0 \Leftrightarrow E\{R(x_j)\} = E w_j \cdot E\{v(x_j) - E\{v(x_o)\}\} = 0 \quad \text{Eq. 6}$$

Obtendo assim a expressão da esperança matemática para o erro médio (Eq. 7):

$$E\{R(x_o)\} = E w_j \cdot E\{v\} - E\{v\} \quad \text{Eq.7}$$

As equações anteriores demonstram as condições características da krigagem ordinária, cuja condição de não enviesamento exige que a média dos erros obtidos seja aproximadamente

zero e a sua variância seja mínima, ou seja, pretende-se obter um erro com a menor dispersão possível.

Por sua vez a representação matricial compacta é expressa na seguinte forma:

$$[A] \cdot [w] = [B] \quad \text{Eq. 8}$$

$$[A]^{-1} \cdot [A] \cdot [w] = [A]^{-1} \cdot [B] \Leftrightarrow [w] = [A]^{-1} \cdot [B] \quad \text{Eq. 9}$$

tal que:

- A: distância entre os pontos (matriz do variograma);
- B: distância entre o ponto de amostragem e o ponto a estimar;
- W: peso da krigagem.

4.6.5. **SOFTWARES USADOS – SURFER 8 E WRPLOT View**

O surfer 8 é um pacote de programas comerciais desenvolvidos pela *Golden Software Inc.* que pode ser utilizado para gerar mapas de variáveis a partir de dados espacialmente distribuídos. É uma importante ferramenta para o utilizador, já que facilita o trabalho, evitando traçar mapas com réguas, transferidores e outros instrumentos, reduzindo o tempo desse processo e sendo menos subjetivo, pois usa algoritmos matemáticos para gerar suas curvas, otimizando o trabalho do usuário.

A representação de dados no espaço é essencial em diversas áreas das ciências, principalmente das ciências naturais e o seu uso é extensivo em agronomia, biologia, ecologia, geografia, geologia, meteorologia, etc. Exemplos de mapas que podem ser gerados com este programa são mapas topográficos a partir da medida da posição (coordenadas) e altitude de alguns pontos de um terreno (Landim et al., 2002).

O WRPLOT View é um *software* de livre acesso que permite a construção de gráficos “Rosa dos Ventos” para dados meteorológicos. Este tipo de representação permite uma visão abrangente de como a velocidade e direção do vento são normalmente distribuídos num determinado local (WRPLOT View, 2017).

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo é realizada uma análise de todos os dados recolhidos e resultados obtidos no estudo, uma descrição dos cálculos efetuados, técnicas e *software* utilizados e, por último a interpretação e discussão dos resultados.

Primeiramente foi calculado o fluxo de deposição da matéria particulada correspondente a cada campanha de amostragem e de seguida procedeu-se à análise dos resultados através da comparação entre os valores obtidos para o fluxo de deposição mensal.

Após o cálculo do fluxo de deposição, foi feito um estudo sobre as variáveis climatológicas para interpretar a variação dos resultados no espaço e no tempo. Numa primeira abordagem, foi feita uma análise global dos registos das variáveis climatológicas (através da estatística exploratória e do *software* WRPLOT View™), de forma a realizar enquadramento geral e identificar algum tipo de padrão na variabilidade espaço-temporal.

Também através da estatística exploratória, foi feita a análise dos resultados do fluxo de deposição (anteriormente calculados) e a sua relação com as variáveis climatológicas.

Por fim, foi utilizada a análise geoestatística para quantificar as correlações espaciais dos dados recolhidos, assim como para produzir os modelos de dispersão espacial do fluxo de deposição. Foram assim utilizados modelos de interpolação que têm como base a variabilidade espacial das amostras. Estes modelos foram obtidos com o *software* Surfer 8, através da variografia e da krigagem ordinária.

5.1. FLUXO DE DEPOSIÇÃO DE MATÉRIA PARTICULADA

Como foi referido no capítulo 4, os filtros com as amostras foram pesados e registou-se os seus valores. Após a obtenção dos resultados, o fluxo de deposição das partículas (p) pode ser expresso em gramas por metro quadrado por mês, com a seguinte equação (Eq. 10):

$$p = \frac{M}{10^3} \times \frac{10^4}{S} \times \frac{730}{t} = 7300 \frac{M}{S.t} \quad \text{Eq.10}$$

em que t (h) corresponde à duração de exposição, M (mg) é a massa de partículas depositadas e S (cm²) representa a superfície de exposição. Na tabela 17 são apresentados os fluxos de deposição calculados, referentes às 7 campanhas de amostragem.

A partir da 3ª campanha, o ponto de amostragem número 35, correspondente à entrada da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto, foi retirado do estudo, visto ter sido removido indevidamente durante as 3 primeiras campanhas de amostragem (poste de eletricidade).

Tabela 17: Cálculo do fluxo de deposição da matéria particulada durante as 7 campanhas de amostragem

Local	1ª Campanha Amostragem			2ª Campanha Amostragem			3ª Campanha Amostragem			4ª Campanha Amostragem			5ª Campanha Amostragem			6ª Campanha Amostragem			7ª Campanha Amostragem		
	Pesagem (g)	Exposição (h)	Fluxo (g/m²/mês)	Pesagem (g)	Exposição (h)	Fluxo (g/m²/mês)	Pesagem (g)	Exposição (h)	Fluxo (g/m²/mês)	Pesagem (g)	Exposição (h)	Fluxo (g/m²/mês)	Pesagem (g)	Exposição (h)	Fluxo (g/m²/mês)	Pesagem (g)	Exposição (h)	Fluxo (g/m²/mês)	Pesagem (g)	Exposição (h)	Fluxo (g/m²/mês)
1	0,0027	691,20	0,57	0,0053	863,42	0,90	0,0068	869,30	1,14	0,0077	1922,17	0,58	0,0017	976,48	0,25	0,0044	1464,02	0,44	0,0027	864,55	0,46
2	0,0021	691,33	0,44	0,0156	863,70	2,64	0,0147	868,90	2,47	0,0042	1922,15	0,32	0,0031	976,57	0,46	0,0006	1463,93	0,06	0,0006	864,50	0,10
3	0,0013	691,43	0,27	0,0052	863,43	0,88	0,0119	869,10	2,00	0,0615	1922,20	4,67	0,0053	976,50	0,79	0,0012	1463,95	0,12	0,0009	864,42	0,15
4	0,0011	691,50	0,23	0,0111	863,17	1,88	0,0184	869,33	3,09	0,0047	1922,17	0,36	0,0178	976,52	2,66	0,0013	1463,97	0,13	0,0006	864,40	0,10
5	0,0015	691,50	0,32	0,0077	912,25	1,23	0,0098	820,28	1,74	0,0039	1922,13	0,30	0,0032	976,53	0,48	0,0014	1463,97	0,14	0,0025	864,33	0,42
6	0,0009	692,03	0,19	0,0073	889,00	1,20	0,0146	869,50	2,45	0,0051	1938,58	0,38	0,0006	965,38	0,09	0,0013	1465,00	0,13	0,0002	859,37	0,03
7	0,0011	691,83	0,23	0,0208	889,08	3,42	0,0094	869,67	1,58	0,0065	1938,42	0,49	0,0026	965,38	0,39	0,0069	1465,00	0,69	0,0110	859,52	1,87
8	0,0057	768,58	1,08	0,0126	889,12	2,07	0,0029	894,33	0,47	0,0030	1913,83	0,23	0,0027	965,33	0,41	0,0002	1465,13	0,02	0,0004	858,53	0,07
9	0,0060	768,33	1,14	0,0148	910,45	2,37	0,0065	870,63	1,09	0,0046	2035,78	0,33	0,0010	863,00	0,17	0,0012	1463,67	0,12	0,0002	864,07	0,03
10	0,0020	691,50	0,42	0,0194	910,42	3,11	0,0049	844,25	0,85	0,0019	1921,42	0,14	0,0010	976,50	0,15	0,0020	1464,53	0,20	0,0022	864,13	0,37
11	0,0047	691,42	0,99	0,0058	910,33	0,93	0,0108	843,33	1,87	0,0032	1922,25	0,24	0,0011	976,58	0,16	0,0016	1463,80	0,16	0,0028	864,28	0,47
12	0,0090	691,50	1,90	0,0084	910,33	1,35	0,0049	843,32	0,85	0,0028	1922,32	0,21	0,0006	976,50	0,09	0,0018	1463,80	0,18	0,0018	864,28	0,30
13	0,0008	700,50	0,17	0,0149	834,17	2,61	0,0113	820,98	2,01	0,0051	1922,27	0,39	0,0013	976,50	0,19	0,0035	1463,77	0,35	0,0007	864,00	0,12
14	0,0018	691,63	0,38	0,0060	862,72	1,02	0,0059	845,67	1,02	0,0070	2012,42	0,51	0,0046	959,12	0,70	0,0009	1471,45	0,09	0,0018	762,23	0,34
15	0,0009	691,67	0,19	0,0099	862,75	1,68	0,0105	845,67	1,81	0,0061	2012,17	0,44	0,0031	959,25	0,47	0,0003	1464,40	0,03	0,0010	769,27	0,19
16	0,0012	691,75	0,25	0,0061	785,17	1,13	0,0100	845,67	1,73	0,0015	2011,92	0,11	0,0010	959,17	0,15	0,0010	1471,48	0,10	0,0008	762,30	0,15
17	0,0014	691,75	0,30	0,0109	784,92	2,03	0,0058	845,67	1,00	0,0002	2011,92	0,01	0,0174	959,17	2,65	0,0020	1471,47	0,20	0,0006	762,28	0,11
18	0,0012	697,58	0,25	0,0041	815,83	0,74	0,0092	844,17	1,59	0,0007	1922,33	0,06	0,0016	976,32	0,24	0,0016	1463,87	0,16	0,0001	864,20	0,02
19	0,0014	697,58	0,29	0,0071	815,83	1,27	0,0106	844,17	1,83	0,0098	1926,67	0,74	0,0010	976,17	0,15	0,0013	1463,67	0,13	0,0011	864,17	0,19
20	0,0075	697,67	1,57	0,0082	815,75	1,47	0,0101	844,15	1,75	0,0106	1922,77	0,80	0,0030	976,08	0,45	0,0011	1463,65	0,11	0,0005	864,18	0,08
21	0,0023	691,33	0,49	0,0074	789,08	1,37	0,0098	893,17	1,60	0,0265	1914,83	2,02	0,0029	965,42	0,44	0,0042	1465,03	0,42	0,0012	858,38	0,20
22	0,0072	699,08	1,50	0,0114	788,58	2,11	0,0097	893,58	1,58	0,0036	1914,42	0,27	0,0027	965,42	0,41	0,0142	1465,28	1,41	0,0008	858,42	0,14
23	0,0007	699,17	0,15	0,0047	785,33	0,87	0,0244	893,58	3,99	0,0080	1914,42	0,61	0,0015	965,50	0,23	0,0026	1465,03	0,26	0,0001	858,47	0,02
24	0,0035	702,67	0,73	0,0121	785,17	2,25	0,0076	893,58	1,24	0,0040	1914,50	0,31	0,0053	965,42	0,80	0,0020	1464,87	0,20	0,0011	858,50	0,19
25	0,0011	702,33	0,23	0,0235	788,42	4,35	0,0110	893,92	1,80	0,0195	1914,08	1,49	0,0115	965,42	1,74	0,0003	1465,12	0,03	0,0004	858,55	0,07
26	0,0014	699,00	0,29	0,0116	813,08	2,08	0,0124	911,00	1,99	0,0015	2017,25	0,11	0,0022	958,92	0,33	0,0026	1471,52	0,26	0,0016	762,45	0,31
27	0,0008	698,33	0,17	0,0119	812,83	2,14	0,0174	911,17	2,79	0,0020	2017,25	0,14	0,0042	958,92	0,64	0,0019	1471,53	0,19	0,0014	762,47	0,27
28	0,0009	698,42	0,19	0,0216	813,42	3,88	0,0188	887,17	3,09	0,0015	2017,17	0,11	0,0018	959,00	0,27	0,0026	1471,48	0,26	0,0013	762,35	0,25
29	0,0007	698,00	0,15	0,0103	886,42	1,70	0,0149	887,17	2,45	0,0022	1993,25	0,16	0,0043	958,92	0,65	0,0012	1471,52	0,12	0,0010	762,48	0,19
30	0,0023	691,33	0,49	0,0109	837,33	1,90	0,0059	863,58	1,00	0,0008	2017,08	0,06	0,0018	959,00	0,27	0,0013	1471,50	0,13	0,0015	762,33	0,29
31	0,0150	697,67	3,14	0,0168	813,92	3,01	0,0064	887,22	1,05	0,0009	2017,12	0,07	0,0018	959,00	0,27	0,0024	1471,78	0,24	0,0018	762,13	0,34
32	0,0008	697,42	0,17	0,0173	814,58	3,10	0,0104	887,22	1,71	0,0241	2016,00	1,75	0,0021	960,15	0,32	0,0034	1471,45	0,34	0,0005	762,43	0,10
33	0,0018	696,83	0,00	0,0235	814,50	4,21	0,0010	887,23	0,16	0,0025	2016,00	0,18	0,0032	960,18	0,49	0,0012	1471,52	0,12	0,0013	762,35	0,25
34	0,0019	696,92	0,40	0,0193	814,50	3,46	0,0104	887,17	1,71	0,0029	2016,92	0,21	0,0024	959,25	0,37	0,0030	1471,37	0,30	0,0004	768,00	0,08
35	0,0013	696,33	0,27	0,0069	815,25	1,24	0,0095	887,17	1,56												

5.2. VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS

5.2.1. INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA

As estações meteorológicas usadas nos registos climatológicos são a de Ermesinde (06F/03UG), a de Vila Chã (06E/03UG) e a do Aeroporto de Sá Carneiro (LPPR 1400/1408). Foram selecionadas por serem as mais próximas do local do estudo (Campus da Asprela) com dados disponíveis e acessíveis de forma livre.

Para representar a direção e velocidade do vento foi utilizado o *software* WRPLOT View™ que consiste num programa de construção de rosas-dos-ventos com os dados meteorológicos do utilizador. É possível gerar gráficos das rosas-dos-ventos, análise de frequências e gráficos para mais variados formatos dos dados meteorológicos.

Tabela 18: Descrição dos pontos de monitorização das estações meteorológicas selecionadas (SNIRH, 2017)

	Estações Meteorológicas		
Nome	Ermesinde	Vila Chã	Aeroporto Francisco Sá Carneiro
Código	06F/03UG	06E/03UG	LPPR 1400/1408
Distrito	Porto		
Concelho	Valongo	Vila do Conde	Maia
Altitude (m)	73	37	69
Latitude (°N)	41,221	41,296	41,248
Longitude (°W)	-8,559	-8,716	-8,681



Figura 29: Estação meteorológica de Ermesinde (SNIRH, 2017).

5.2.2. DADOS METEOROLÓGICOS DA 1ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

A 1ª campanha de amostragem decorreu entre 13 de abril e 14 de maio de 2015, com uma duração de 32 dias no total. Os dados referentes à direção do vento, precipitação e velocidade média do vento, referentes a este período foram, foram recolhidos na estação

Tabela 19: Estatísticos exploratórios para os registos das variáveis climatológicas - 1ª campanha de amostragem

	Direção média do vento (°)	Precipitação (mm)	Velocidade média do vento (m/s)	Temperatura média (°C)
Média	186	0,3	0,4	15
Mediana	183	0,0	0,2	15
Desvio Padrão	32	1,8	0,4	2
Variância	1044	3,2	0,2	3
Máximo	259	10,1	1,7	21
Mínimo	129	0,0	0,0	12
Desvio Médio	27	0,6	0,3	1

meteorológica de Ermesinde enquanto os dados da temperatura média do ar foram recolhidos na estação do Aeroporto Francisco Sá Carneiro.

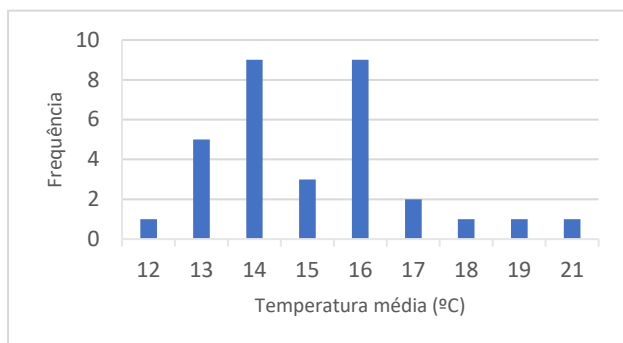


Figura 30: Histograma da variável temperatura média referente ao período da 1ª campanha de amostragem.

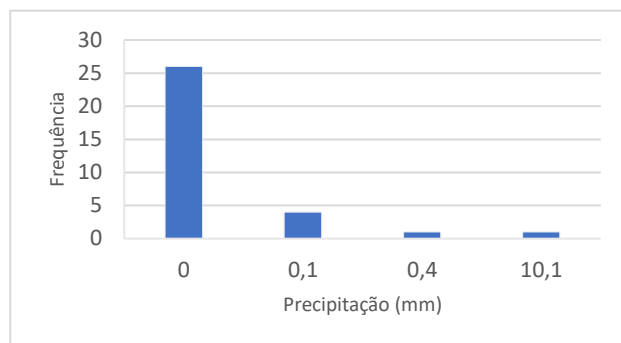


Figura 31: Histograma da variável precipitação média referente ao período da 1ª campanha de amostragem.

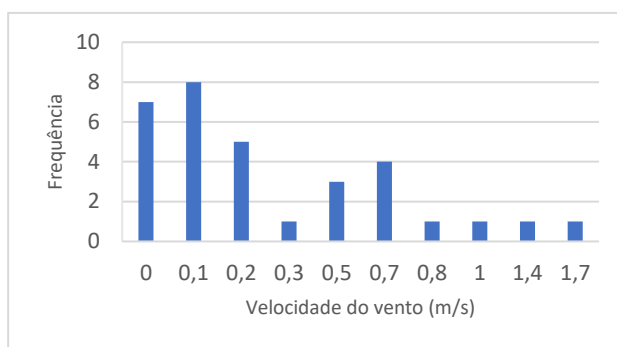


Figura 32: Histograma da variável da velocidade do vento referente ao período da 1ª campanha de amostragem.

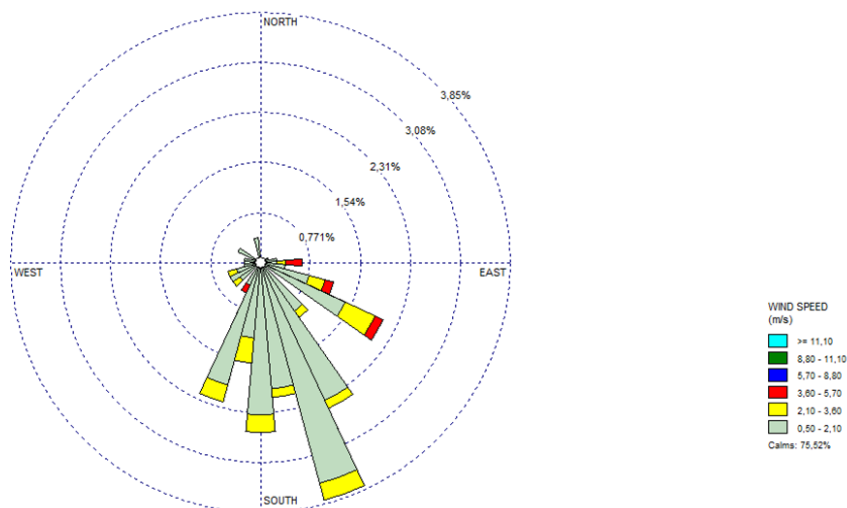


Figura 33: Representação circular dos registos da direção e velocidade do vento média referente ao período da 1ª campanha de amostragem (WRPLOT, 2017).

Neste período, o valor da média da temperatura do ar foi de 15 °C, o valor médio da temperatura máxima do ar foi de 21 °C e o mínimo de 12 °C. Segundo os boletins climatológicos mensais, para Portugal Continental, os meses de abril e maio de 2015 foram muito quentes e secos. O valor médio da temperatura do ar em abril, 15,08 °C, foi superior ao valor normal em cerca de 2 °C, sendo este o 3º valor mais alto dos últimos 18 anos. Em maio o valor médio da temperatura média do ar foi de 18,67 °C, muito superior ao normal com uma anomalia de cerca de 3 °C, 2º valor mais alto desde 1931. Como se pode verificar, a temperatura média registada

na estação meteorológica assemelha-se à verificada em Portugal Continental nesse período, permitindo caracterizar o período em que decorreu esta campanha de amostragem como quente.

O histograma representado na Figura 29 revela que os fenómenos de precipitação foram, em média, de baixa intensidade o que se por um lado facilita a deposição de partículas, por outro lado, não evidencia intensidade suficiente para provocar a lavagem das placas de recolha. O valor médio da quantidade de precipitação nestes meses foi de 0,3 mm, valor muito inferior ao normal, representando a situação de seca que se verificou em todo o território nacional desde fevereiro.

Relativamente à direção do vento, nesta campanha direcionou-se predominantemente para sul, em particular para SE. A velocidade do vento registada durante este período caracteriza-se pela sua baixa intensidade, com uma média de 0,1 m/s

5.2.3. DADOS METEOROLÓGICOS DA 2ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

A 2ª campanha de amostragem decorreu entre 11 de maio e 17 de junho de 2015, 38 dias no total. Como na campanha anterior, os dados referentes à direção do vento, precipitação e velocidade média do vento deste período foram recolhidos na estação meteorológica de Ermesinde enquanto os dados da temperatura média do ar foram registados na estação do Aeroporto Francisco Sá Carneiro.

Tabela 20: Estatísticos exploratórios para os registos das variáveis climatológicas - 2ª campanha de amostragem

	Direção média do vento (°)	Precipitação (mm)	Velocidade média do vento (m/s)	Temperatura média (°C)
Média	216	1,0	0,1	18
Mediana	216	0,0	0,1	17
Desvio Padrão	26	5,4	0,2	3
Variância	702	29,6	0,0	8
Máximo	285	33,6	0,7	25
Mínimo	150	0,0	0,0	14
Desvio Médio	18	1,7	0,1	2

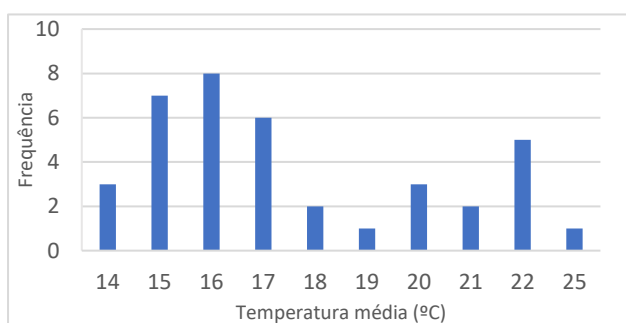


Figura 34: Histograma da variável temperatura média referente ao período da 2ª campanha de amostragem.

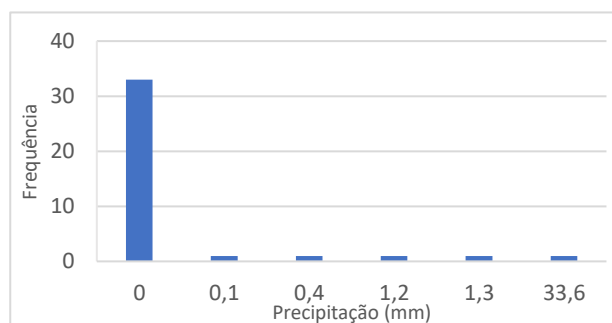


Figura 35: Histograma da variável precipitação média referente ao período da 2ª campanha de amostragem.

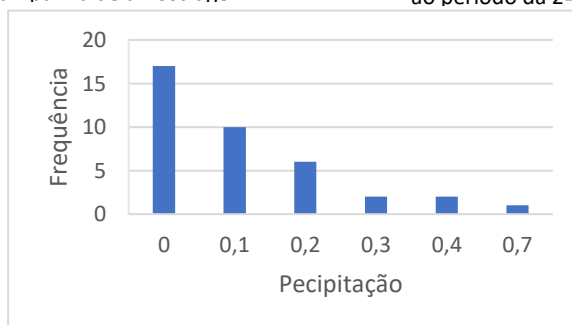


Figura 36: Histograma da variável velocidade do vento média referente ao período da 2ª campanha de amostragem.

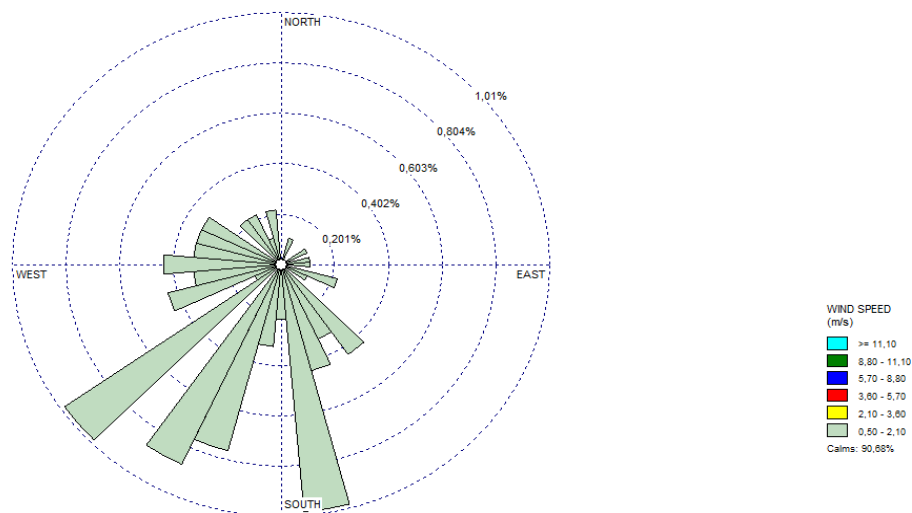


Figura 37: Representação circular dos registos da direção e velocidade do vento média referente ao período da 2ª campanha de amostragem.

O valor médio da temperatura do ar nesta campanha de amostragem foi de 18 °C, superior ao da primeira campanha. O valor médio mensal da temperatura máxima do ar foi de 25 °C, valor bastante elevado, e o valor médio da temperatura mínima foi de 14 °C correspondendo ao 11º valor mais alto desde 1931 em Portugal Continental, segundo o IPMA. Em Portugal Continental, o mês de junho 2015 foi o mais quente dos últimos 10 anos e o 5º mais quente desde 1931. O valor médio da temperatura do ar neste mês foi de 21.85 °C e em maio foi de 18,67 °C, pelo que este período de amostragem também se pode caracterizar como quente.

Em média, a precipitação neste período foi de 1,0 mm e como se pode observar no histograma (figura 33), na maioria dos dias, não houve fenómenos de precipitação, podendo considerar-se este período como seco. O valor máximo para a precipitação total diária foi de 33,6 mm no dia 14 de junho de 2015. Este dia foi provavelmente desfavorável no que respeita à recolha de partículas pelo método de deposição em placas, uma vez que estavam em presença de condições que promovem a sua lavagem. No entanto, este efeito aparecerá diluído no fluxo de deposição mensal.

Nesta campanha, o vento teve direcionou-se predominantemente para sul, em particular para SW. A velocidade do vento durante este período caraterizou-se, novamente, pela sua baixa intensidade, com uma média de 0,1 m/s. Segundo o histograma (figura 34), durante 17 dias a velocidade do vento foi aproximadamente 0,0 m/s, logo esta campanha decorreu num período caracterizado por “vento muito fraco”.

5.2.4. DADOS METEOROLÓGICOS DA 3ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

A 3ª campanha de amostragem decorreu entre 15 de junho e 22 de julho de 2015, 38 dias. Os dados referentes à direção do vento, precipitação e velocidade média do vento, referentes a este período, foram recolhidos na estação meteorológica de Ermesinde enquanto os dados da temperatura média do ar foram registados na estação do Aeroporto Francisco Sá Carneiro.

Tabela 21: Estatísticos exploratórios para os registos das variáveis climatológicas - 3ª campanha de amostragem

	Direção média do vento (°)	Precipitação (mm)	Velocidade média do vento (m/s)	Temperatura média (°C)
Média	206	0,0	0,1	19
Mediana	206	0,0	0,0	18
Desvio Padrão	19	0,0	0,1	2
Variância	348	0,0	0,0	6
Máximo	240	0,0	0,4	27
Mínimo	168	0,0	0,0	17
Desvio Médio	16	0,0	0,1	2

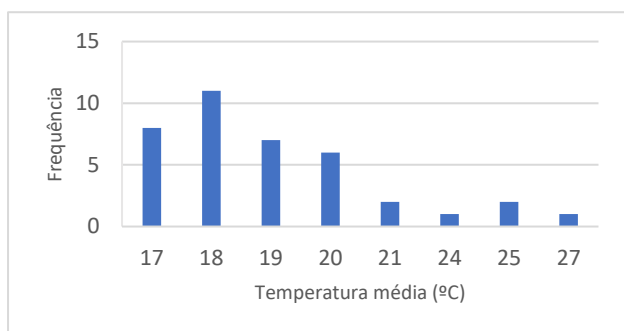


Figura 38: Histograma da variável temperatura média referente ao período da 3ª campanha de amostragem.

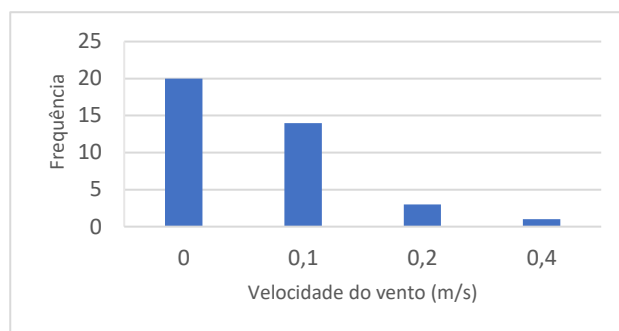


Figura 39: Histograma da variável velocidade do vento referente ao período da 3ª campanha de amostragem.

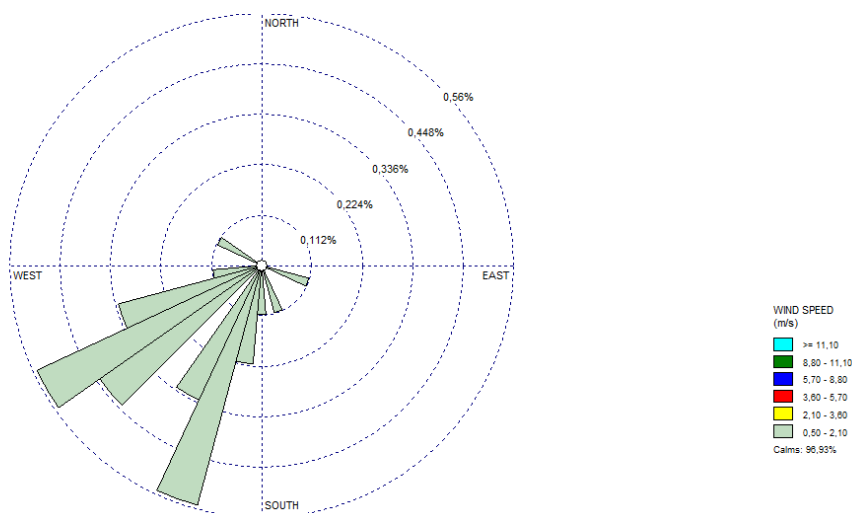


Figura 40: Representação circular dos registos da direção e velocidade do vento referente ao período da 3ª campanha de amostragem.

A terceira campanha de amostragem decorreu entre 15 de junho e 22 de julho de 2015, 38 dias. Os dados referentes à direção do vento, precipitação e velocidade média do vento, referentes a este período, foram recolhidos na estação meteorológica de Ermesinde enquanto os dados da temperatura média do ar foram registados na estação do Aeroporto Francisco Sá Carneiro.

O período da amostragem caracterizou-se como quente e seco. O valor médio da temperatura do ar da campanha de amostragem foi de 19 °C, superior ao das campanhas anteriores. O valor médio mensal da temperatura máxima do ar foi de 27 °C, valor bastante elevado e o valor médio da temperatura mínima foi de 17 °C, correspondendo ao 11º valor mais alto desde 1931 em Portugal Continental (IPMA, 2015).

Durante a campanha de amostragem não houve fenómenos de precipitação, por isso se considerou o período em que decorreu a 3ª campanha como um período muito seco. A inexistência de precipitação promove a deposição de partículas, como foi mencionado anteriormente.

Como na campanha anterior, a direção do vento direcionou-se predominantemente para sul, principalmente para SW. OS dados registados para a velocidade do vento durante este período durante este período caracterizaram-se, novamente, pela sua baixa intensidade, com uma média de 0,1 m/s. Segundo o histograma (figura 37), durante 20 dias a velocidade do vento foi aproximadamente 0,0 m/s.

5.2.5. DADOS METEOROLÓGICOS DA 4ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

A 4ª campanha de amostragem foi a mais longa e realizou-se entre 20 de julho e 12 de outubro de 2015, com a duração de 85 dias. Os dados da precipitação, direção e velocidade média do vento, referentes a este período, foram recolhidos na estação meteorológica de Vila Chã (devido à falta de dados na estação de Ermesinde para estes parâmetros), enquanto os dados da temperatura média do ar foram registados na estação do Aeroporto Francisco Sá Carneiro.

Tabela 22: Estatísticos exploratórios para os registos das variáveis climatológicas - 4ª campanha de amostragem

	Direção média do vento (°)	Precipitação (mm)	Velocidade média do vento (m/s)	Temperatura média (°C)
Média	193	4,4	0,3	17
Mediana	196	0,0	0,0	17
Desvio Padrão	34	15,7	0,7	1
Variância	1178	248,0	0,6	2
Máximo	244	96,3	3,2	20
Mínimo	119	0,0	0,0	14
Desvio Médio	27	6,4	0,4	1

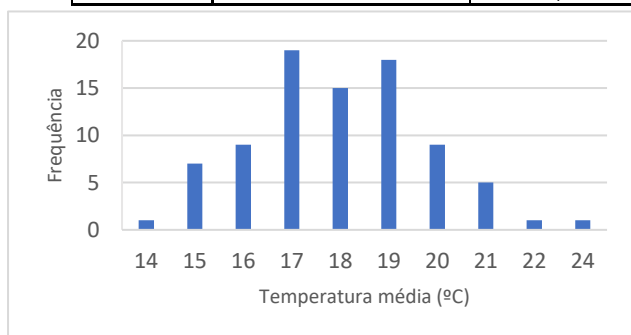


Figura 41: Histograma da variável temperatura média referente ao período da 4ª campanha de amostragem.

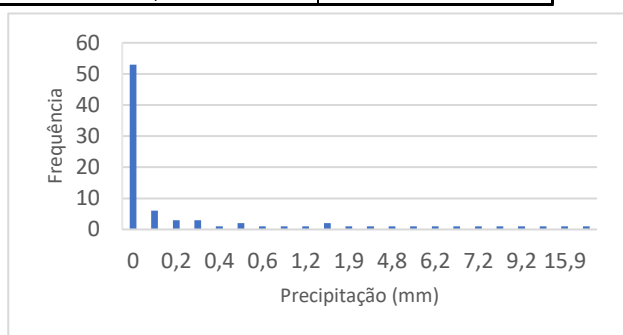


Figura 42: Histograma da variável precipitação referente ao período da 4ª campanha de amostragem.

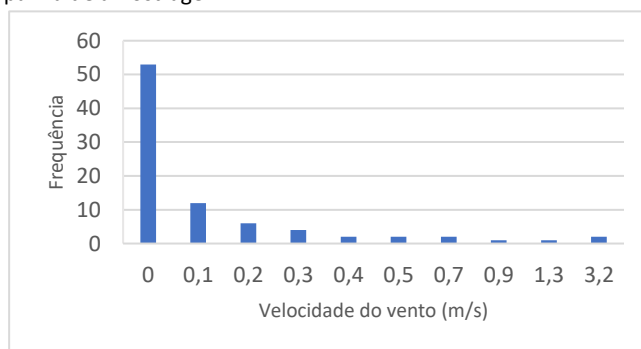


Figura 43: Histograma da variável velocidade do vento referente ao período da 4ª campanha de amostragem.

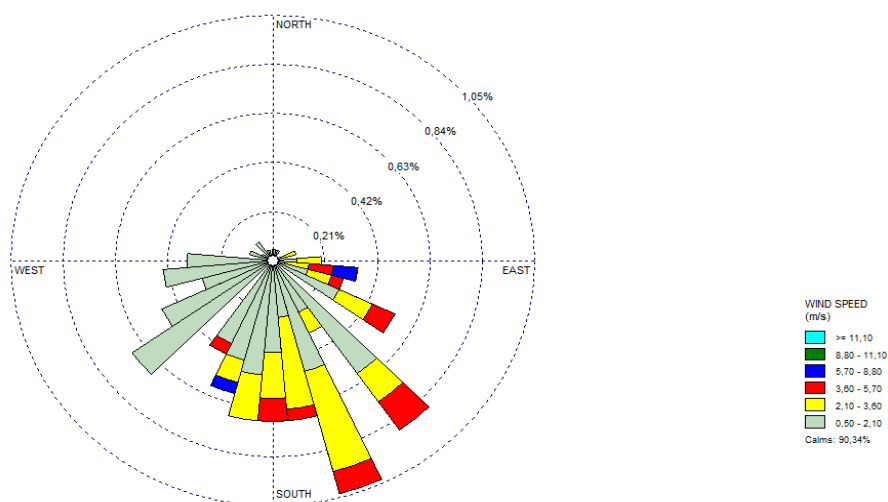


Figura 44: Representação circular dos registos da direção e velocidade do vento referente ao período da 4ª campanha de amostragem.

Este período da amostragem caracterizou-se como frio e seco. O valor médio da temperatura do ar foi de 17 °C e, segundo o que se pode observar no histograma da temperatura média (figura 40), a maior frequência refere-se ao intervalo de 17 a 19 °C. O valor médio mensal da temperatura máxima do ar foi de 24 °C e o valor médio da temperatura mínima foi de 14 °C.

O valor médio da quantidade de precipitação, na campanha de amostragem, foi de 4,0 mm e, como se pode observar no histograma (figura 41), na maioria dos dias não houve precipitação.

A partir da figura 43 é possível verificar que a direção predominante é novamente para sul, principalmente no sentido SE e SW. Apesar de maioritariamente se registarem valores de velocidade do vento de 0,3 m/s, também foram registados valores na gama 2,10 m/s-3,50 m/s.

5.2.6. DADOS METEOROLÓGICOS DA 5ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

A 5ª campanha de amostragem decorreu entre 7 de outubro e 20 de novembro de 2015, correspondendo a 45 dias. Os dados referentes à direção do vento, precipitação e velocidade média do vento, para este período, foram recolhidos na estação meteorológica de Vila Chã, enquanto os dados da temperatura média do ar foram registados na estação do Aeroporto Francisco Sá Carneiro.

Tabela 23: Estatísticos exploratórios para os registos das variáveis climatológicas - 5ª campanha de amostragem

	Direção média do vento (°)	Precipitação (mm)	Velocidade média do vento (m/s)	Temperatura média (°C)
Média	179	3,7	1,2	16
Mediana	168	0,2	1,0	17
Desvio Padrão	39	9,3	1,2	2
Variância	1483	86,7	1,4	4
Máximo	250	49,2	4,0	20
Mínimo	109	0,0	0,0	13
Desvio Médio	32	5,3	0,9	2

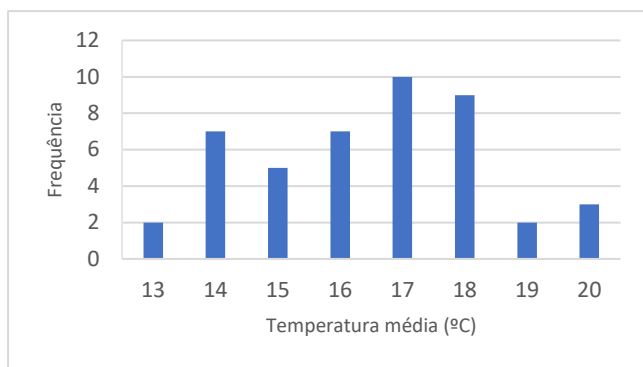


Figura 45: Histograma da variável temperatura média referente ao período da 5ª campanha de amostragem.

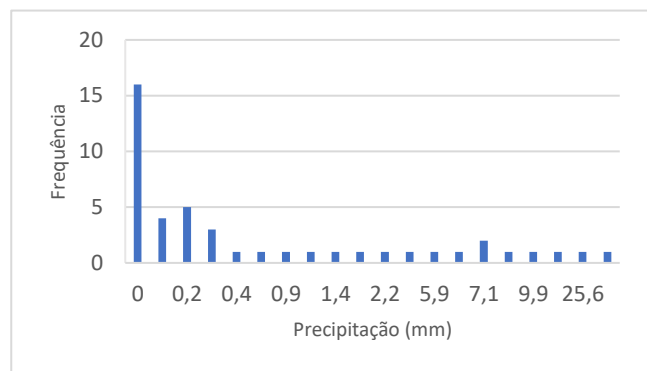


Figura 46: Histograma da variável precipitação referente ao período da 5ª campanha de amostragem.

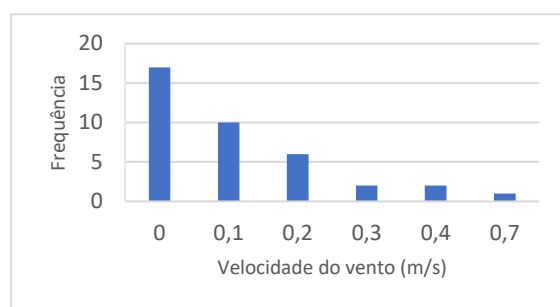


Figura 47: Histograma da variável velocidade do vento referente ao período da 5ª campanha de amostragem.

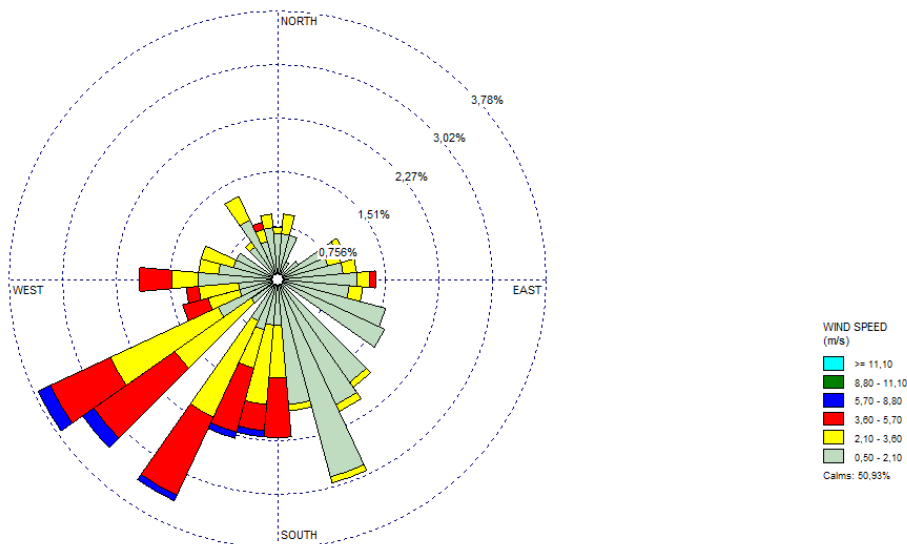


Figura 48: Representação circular dos registos da direção e velocidade do vento referente ao período da 5ª campanha de amostragem.

O valor médio da temperatura do ar neste período de amostragem foi de 16 °C, considerando-se assim o período como quente. Em Portugal Continental, nos meses de outubro e novembro foi registada uma temperatura média 17 °C e 13,4 °C, respetivamente. Ambos os valores foram superiores ao normal, permitindo considerar estes meses como quentes. O valor médio mensal da temperatura máxima do ar foi de 20 °C e o valor médio da temperatura mínima foi de 13 °C.

O valor médio da precipitação, neste período, foi de 3,7 mm e na tabela 5 do anexo 2 pode verificar-se que os dias com maior precipitação corresponderam ao mês de outubro, considerado como chuvoso. O dia de maior precipitação (49,2 mm) foi em 29 de outubro. Este dia, bem como os restantes em que se registaram fenómenos de precipitação intensa podem ter afetado a recolha de partículas pelo método de deposição em placas, visto promoverem a lavagem das mesmas.

Segundo a figura 47, o vento dirige-se predominantemente para SW, com alguns valores que apontam uma orientação para SE. Em média, a velocidade do vento desta campanha foi de 1,2 m/s, com alguns valores de intensidade mais elevada da ordem de 3,50 m/s-5,70 m/s.

5.2.7. DADOS METEOROLÓGICOS DA 6ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

A 6ª campanha de amostragem decorreu entre 16 de novembro de 2015 a 19 de janeiro de 2016, ou seja, teve a duração de 65 dias. Os dados referentes à direção do vento, precipitação e velocidade média do vento, deste período, foram recolhidos na estação meteorológica de Vila Chã, enquanto os dados da temperatura média do ar foram registados na estação do Aeroporto Francisco Sá Carneiro.

Tabela 24: Estatísticos exploratórios para os registos das variáveis climatológicas - 6ª campanha de amostragem

	Direção média do vento (°)	Precipitação (mm)	Velocidade média do vento (m/s)	Temperatura média (°C)
Média	199	9,0	2,7	13
Mediana	202	5,2	2,5	13
Desvio Padrão	43	11,0	1,1	2
Variância	1889	120,9	1,2	6
Máximo	295	43,2	5,1	18
Mínimo	69	0,0	0,9	8
Desvio Médio	35	8,6	0,9	2

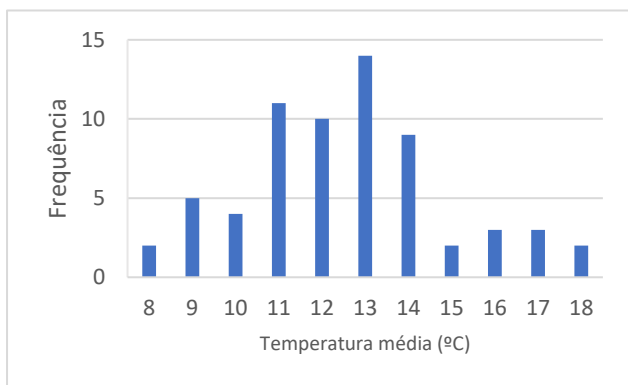


Figura 49: Histograma da variável temperatura média referente ao período da 6ª campanha de amostragem.

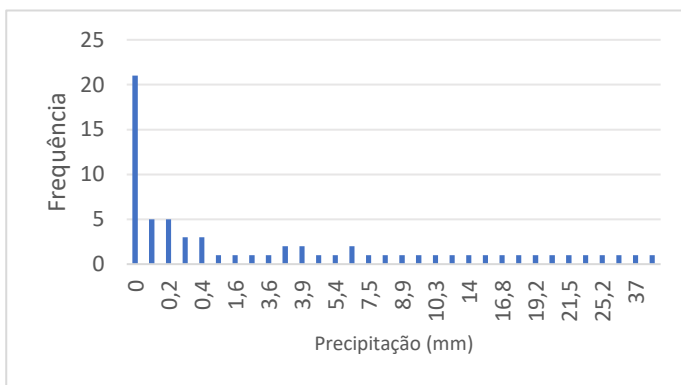


Figura 50: Histograma da variável precipitação referente ao período da 6ª campanha de amostragem.

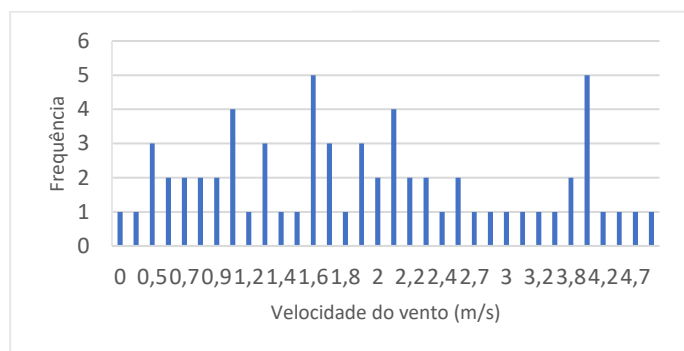


Figura 51: Histograma da variável velocidade do vento referente ao período da 6ª campanha de amostragem.

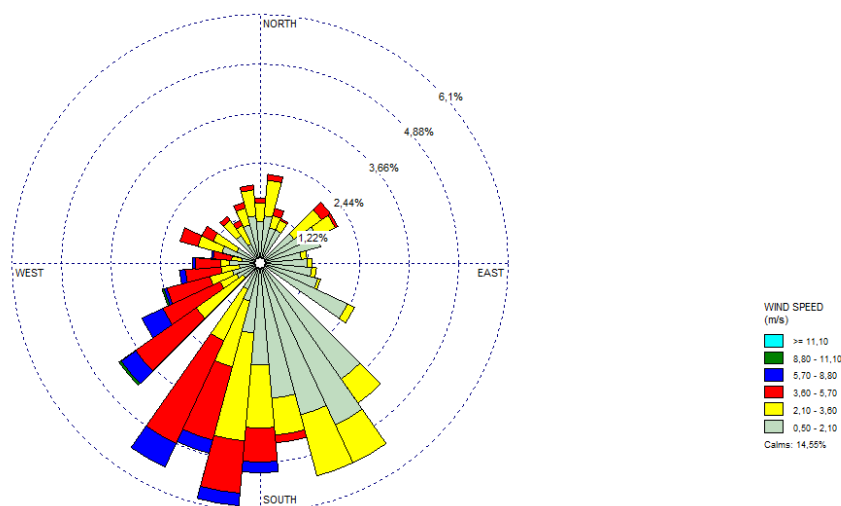


Figura 52: Representação circular dos registos da direção e velocidade do vento referente ao período da 6ª campanha de amostragem.

O valor médio da temperatura do ar da campanha de amostragem foi de 13 °C, podendo assim considerar-se este período como quente. O valor médio mensal da temperatura máxima do ar foi de 18 °C e o valor médio da temperatura mínima foi de 8 °C, valores superiores ao normal segundo o IPMA, para o período em questão.

O valor médio da precipitação neste período foi de 9,0 mm e no anexo IV pode verificar-se que os dias com maior precipitação correspondem ao mês de janeiro, considerado como muito chuvoso. O valor máximo de precipitação foi de 43,2 mm que ocorreu em janeiro, mês em que não choveu em apenas 4 dias. Como referido anteriormente, a precipitação afeta a recolha das partículas nas placas, devido à lavagem das mesmas.

Relativamente à direção do vento, nesta campanha o vento direcionou-se predominantemente para sul. Na 6ª campanha registou-se, em média, o valor mais elevado para velocidade do vento (2,7 m/s). Segundo a figura 49, a velocidade do vento registada, no geral, caracterizou-se pela sua intensidade elevada, principalmente com velocidade entre 3,50 m/s e 5,70 m/s.

5.2.8. DADOS METEOROLÓGICOS DA 7ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

A 7ª campanha de amostragem decorreu entre 15 de janeiro e 19 de fevereiro de 2016, o que corresponde a uma duração de 35 dias. Os dados referentes à direção do vento, precipitação e velocidade média do vento, referentes a este período foram, foram recolhidos na estação meteorológica de Vila Chã, enquanto os dados da temperatura média do ar foram registados na estação do Aeroporto Francisco Sá Carneiro.

Tabela 25: Estatísticos exploratórios para os registos das variáveis climatológicas - 7ª campanha de amostragem

	Direção média do vento (°)	Precipitação (mm)	Velocidade média do vento (m/s)	Temperatura média (°C)
Média	181	4,8	2,0	11
Mediana	178	0,8	1,7	11
Desvio Padrão	67	7,3	1,0	3
Variância	4515	52,7	1,1	7
Máximo	303	23,4	4,5	17
Mínimo	69	0,0	0,6	6
Desvio Médio	55	5,8	0,9	2

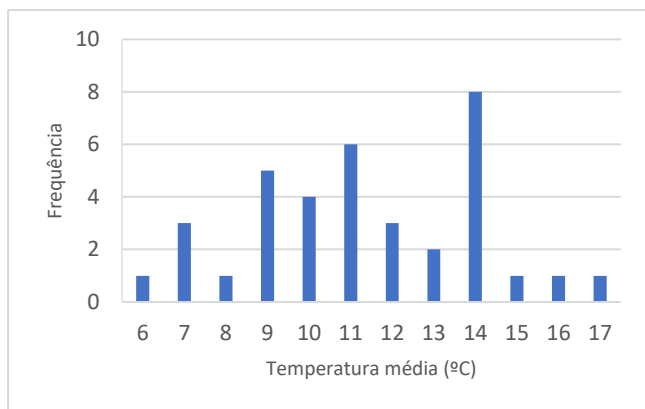


Figura 53: Histograma da variável temperatura média referente ao período da 7ª campanha de amostragem.

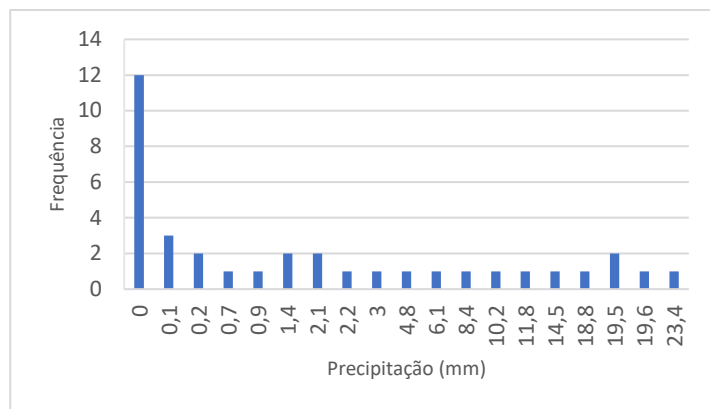


Figura 54: Histograma da variável precipitação referente ao período da 7ª campanha de amostragem.

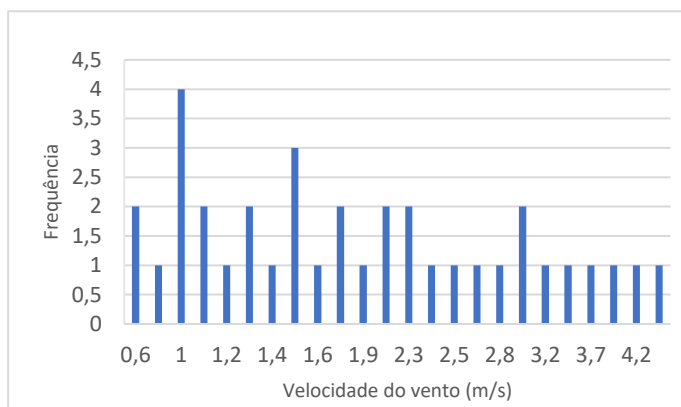


Figura 55: Histograma da variável velocidade do vento referente ao período da 7ª campanha de amostragem.

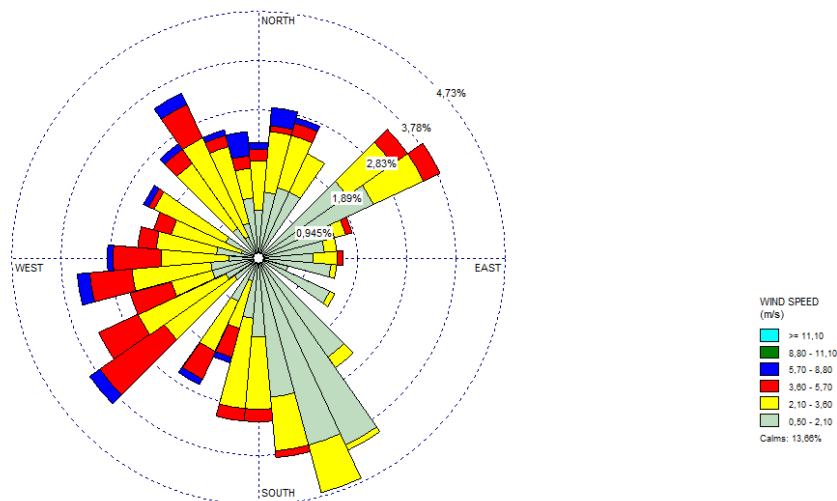


Figura 56: Representação circular dos registos da direção e velocidade do vento referente ao período da 7ª campanha de amostragem.

O valor médio da temperatura do ar da campanha de amostragem foi de 11 °C, valor considerado normal segundo o IPMA. O valor médio mensal da temperatura máxima do ar foi de 17 °C e o valor médio da temperatura mínima foi de 6 °C, valores também considerados normais para este período (tabela 25).

O valor médio da precipitação neste período foi de 4,8 mm e como se pode verificar no histograma apenas em 12 dias da campanha de amostragem não houve fenómenos de precipitação, logo considerou-se este período como muito chuvoso.

Relativamente à direção do vento, verificou-se uma variação praticamente em todas as direções, com a exceção da orientação para este. No histograma (figura 52) pode-se observar os vários valores da velocidade do vento registados para este período, em média obteve-se um valor de 2,0 m/s para esta campanha.

5.3. ESTATÍSTICAS EXPLORATÓRIAS

Foi realizado um estudo estatístico com os dados obtidos para o fluxo de deposição das partículas. Na Tabela 26 encontram-se representados os fluxos de deposição referentes a cada uma das campanhas de amostragem com os respetivos estatísticos exploratórios já calculados.

A partir da observação da tabela é possível verificar que a maior quantidade de partículas recolhidas ocorreu na 2ª e 3ª campanhas de amostragem, correspondentes ao período de 11 de maio a 21 de julho de 2015. Por outro lado, nas duas últimas campanhas de amostragem, correspondente ao período entre 16 de novembro de 2015 e 19 de fevereiro de 2016, o fluxo de deposição foi bastante menor. Esta diferença pode ser explicada pelas variações das condições climáticas registadas nestes períodos. A 2ª e 3ª campanha caracterizaram-se como meses muito quentes e secos. A temperatura média do ar da 2ª campanha foi de 18 °C e a da 3ª campanha foi de 19 °C, valores superiores aos normais. Relativamente à precipitação, na 2ª e 3ª campanha manteve-se a situação de seca meteorológica que se registava há 7 meses. Na 2ª campanha o valor médio de precipitação foi de 1,0 mm, um valor muito inferior ao normal, e na 3ª campanha não houve qualquer fenómeno de precipitação (SNIRH, 2015).

Relativamente à menor deposição de partículas registadas na 6ª e na 7ª campanha pode ser justificada, principalmente, pela forte precipitação que ocorreu nestes meses. A 6ª campanha foi considerada quente, com valor de temperatura média de 13 °C, que segundo o IPMA foi um valor superior ao normal. Relativamente à última campanha, a temperatura média foi de 11 °C, um valor esperado para o período em questão. No que toca à precipitação, ambas as campanhas foram de precipitação intensa, sendo caracterizadas por períodos de chuva intensa contínuos. Os períodos de precipitação intensa dificultam a ressuspensão de partículas a partir do solo e podem proceder à “lavagem” das placas horizontais, dificultando a retenção das partículas pela resina e por isso prejudicando o estudo.

Tabela 26: Dados estatísticos exploratórios para o fluxo de deposição

Local	1ª Campanha		2ª Campanha		3ª Campanha		4ª Campanha		5ª Campanha		6ª Campanha		7ª Campanha	
	Pesagem (g)	Fluxo (g/m ² /mês)	Pesagem (g)	Fluxo (g/m ² /mês)	Pesagem (g)	Fluxo (g/m ² /mês)	Pesagem (g)	Fluxo (g/m ² /mês)	Pesagem (g)	Fluxo (g/m ² /mês)	Pesagem (g)	Fluxo (g/m ² /mês)	Pesagem (g)	Fluxo (g/m ² /mês)
1	0,0027	0,57	0,0053	0,90	0,0068	1,14	0,0077	0,58	0,0017	0,25	0,0044	0,44	0,0027	0,46
2	0,0021	0,44	0,0156	2,64	0,0147	2,47	0,0042	0,32	0,0031	0,46	0,0006	0,06	0,0006	0,10
3	0,0013	0,27	0,0052	0,88	0,0119	2,00	0,0615	4,67	0,0053	0,79	0,0012	0,12	0,0009	0,15
4	0,0011	0,23	0,0111	1,88	0,0184	3,09	0,0047	0,36	0,0178	2,66	0,0013	0,13	0,0006	0,10
5	0,0015	0,32	0,0077	1,23	0,0098	1,74	0,0039	0,30	0,0032	0,48	0,0014	0,14	0,0025	0,42
6	0,0009	0,19	0,0073	1,20	0,0146	2,45	0,0051	0,38	0,0006	0,09	0,0013	0,13	0,0002	0,03
7	0,0011	0,23	0,0208	3,42	0,0094	1,58	0,0065	0,49	0,0026	0,39	0,0069	0,69	0,0110	1,87
8	0,0057	1,08	0,0126	2,07	0,0029	0,47	0,0030	0,23	0,0027	0,41	0,0002	0,02	0,0004	0,07
9	0,0060	1,14	0,0148	2,37	0,0065	1,09	0,0046	0,33	0,0010	0,17	0,0012	0,12	0,0002	0,03
10	0,0020	0,42	0,0194	3,11	0,0049	0,85	0,0019	0,14	0,0010	0,15	0,0020	0,20	0,0022	0,37
11	0,0047	0,99	0,0058	0,93	0,0108	1,87	0,0032	0,24	0,0011	0,16	0,0016	0,16	0,0028	0,47
12	0,0090	1,90	0,0084	1,35	0,0049	0,85	0,0028	0,21	0,0006	0,09	0,0018	0,18	0,0018	0,30
13	0,0008	0,17	0,0149	2,61	0,0113	2,01	0,0051	0,39	0,0013	0,19	0,0035	0,35	0,0007	0,12
14	0,0018	0,38	0,0060	1,02	0,0059	1,02	0,0070	0,51	0,0046	0,70	0,0009	0,09	0,0018	0,34
15	0,0009	0,19	0,0099	1,68	0,0105	1,81	0,0061	0,44	0,0031	0,47	0,0003	0,03	0,0010	0,19
16	0,0012	0,25	0,0061	1,13	0,0100	1,73	0,0015	0,11	0,0010	0,15	0,0010	0,10	0,0008	0,15
17	0,0014	0,30	0,0109	2,03	0,0058	1,00	0,0002	0,01	0,0174	2,65	0,0020	0,20	0,0006	0,11
18	0,0012	0,25	0,0041	0,74	0,0092	1,59	0,0007	0,06	0,0016	0,24	0,0016	0,16	0,0001	0,02
19	0,0014	0,29	0,0071	1,27	0,0106	1,83	0,0098	0,74	0,0010	0,15	0,0013	0,13	0,0011	0,19
20	0,0075	1,57	0,0082	1,47	0,0101	1,75	0,0106	0,80	0,0030	0,45	0,0011	0,11	0,0005	0,08
21	0,0023	0,49	0,0074	1,37	0,0098	1,60	0,0265	2,02	0,0029	0,44	0,0042	0,42	0,0012	0,20
22	0,0072	1,50	0,0114	2,11	0,0097	1,58	0,0036	0,27	0,0027	0,41	0,0142	1,41	0,0008	0,14
23	0,0007	0,15	0,0047	0,87	0,0244	3,99	0,0080	0,61	0,0015	0,23	0,0026	0,26	0,0001	0,02
24	0,0035	0,73	0,0121	2,25	0,0076	1,24	0,0040	0,31	0,0053	0,80	0,0020	0,20	0,0011	0,19
25	0,0011	0,23	0,0235	4,35	0,0110	1,80	0,0195	1,49	0,0115	1,74	0,0003	0,03	0,0004	0,07
26	0,0014	0,29	0,0116	2,08	0,0124	1,99	0,0015	0,11	0,0022	0,33	0,0026	0,26	0,0016	0,31
27	0,0008	0,17	0,0119	2,14	0,0174	2,79	0,0020	0,14	0,0042	0,64	0,0019	0,19	0,0014	0,27
28	0,0009	0,19	0,0216	3,88	0,0188	3,09	0,0015	0,11	0,0018	0,27	0,0026	0,26	0,0013	0,25
29	0,0007	0,15	0,0103	1,70	0,0149	2,45	0,0022	0,16	0,0043	0,65	0,0012	0,12	0,0010	0,19
30	0,0023	0,49	0,0109	1,90	0,0059	1,00	0,0008	0,06	0,0018	0,27	0,0013	0,13	0,0015	0,29
31	0,0150	3,14	0,0168	3,01	0,0064	1,05	0,0009	0,07	0,0018	0,27	0,0024	0,24	0,0018	0,34
32	0,0008	0,17	0,0173	3,10	0,0104	1,71	0,0241	1,75	0,0021	0,32	0,0034	0,34	0,0005	0,10
33	0,0018	0,00	0,0235	4,21	0,0010	0,16	0,0025	0,18	0,0032	0,49	0,0012	0,12	0,0013	0,25
34	0,0019	0,40	0,0193	3,46	0,0104	1,71	0,0029	0,21	0,0024	0,37	0,0030	0,30	0,0004	0,08
35	0,0013	0,27	0,0069	1,24	0,0095	1,56								
Média	0,0027	0,5585	0,0117	2,0449	0,0102	1,7165	0,0074	0,5531	0,0036	0,5399	0,0023	0,2298	0,0014	0,2434
Mediana	0,0014	0,2930	0,0109	1,9006	0,0100	1,7115	0,0040	0,3006	0,0025	0,3792	0,0016	0,1596	0,0010	0,1865
Desvio Padrão	0,0030	0,6271	0,0056	0,9913	0,0047	0,7650	0,0112	0,8507	0,0040	0,6068	0,0025	0,2452	0,0018	0,3096
Variância	0,0000	0,4048	0,0000	1,0115	0,0000	0,6025	0,0001	0,7457	0,0000	0,3793	0,0000	0,0620	0,0000	0,0988
Soma	0,0960	19,5466	0,4104	71,5719	0,3586	60,0787	0,2501	18,8050	0,1214	18,3565	0,0785	7,8143	0,0469	8,2742
Máximo	0,0150	3,1390	0,0235	4,3518	0,0244	3,9866	0,0615	4,6712	0,0178	2,6613	0,0142	1,4149	0,0110	1,8685
Mínimo	0,0007	0,0018	0,0041	0,7355	0,0010	0,1646	0,0002	0,0145	0,0006	0,0897	0,0002	0,0199	0,0001	0,0169
Desvio Médio	0,0021	0,4342	0,0046	0,8052	0,0033	0,5530	0,0064	0,4848	0,0025	0,3717	0,0014	0,1429	0,0009	0,1636

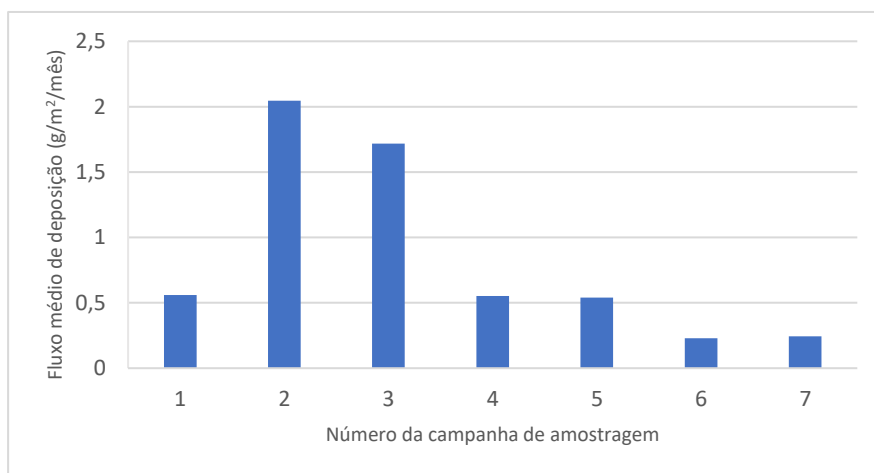


Figura 57: Fluxo médio de deposição por campanha de amostragem.

5.4. MODELOS DE DISPERSÃO ESPACIAL

Neste subcapítulo estão representados os variogramas experimentais obtidos para o fluxo de deposição das partículas, segundo a direção de maior continuidade, e os respectivos modelos teóricos de ajuste.

Posteriormente estão representados os modelos de dispersão espacial do fluxo de deposição, construídos através do processo de krigagem ordinária, obtendo assim uma superfície contínua com curvas representando os valores da massa de partículas depositada.

Os modelos de dispersão espacial do fluxo de deposição foram calculados segundo os ajustes realizados para os variogramas e são representados por mapas de isolinhas. Estes mapas foram construídos através de krigagem ordinária, obtendo assim uma superfície contínua com curvas representando os valores da massa de partículas depositadas.

Relativamente à 1ª campanha, os dados obtidos não foram usados nos modelos de dispersão espacial, em virtude de os mesmos não serem fidedignos, comparativamente às restantes campanhas. Esta situação prende-se com o facto de os filtros utilizados inicialmente, membrana em Fluoreto Polivinidileno (PVDF), sofreram ataque pelo diclorometano no processo laboratorial de filtração das partículas.

5.4.1. MODELOS DE DISPERSÃO ESPACIAL DO FLUXO DE DEPOSIÇÃO DAS PARTICULAS – 2ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

Os modelos de dispersão espacial do fluxo de deposição da 2ª campanha de amostragem das partículas apresentam-se nas figuras seguintes.

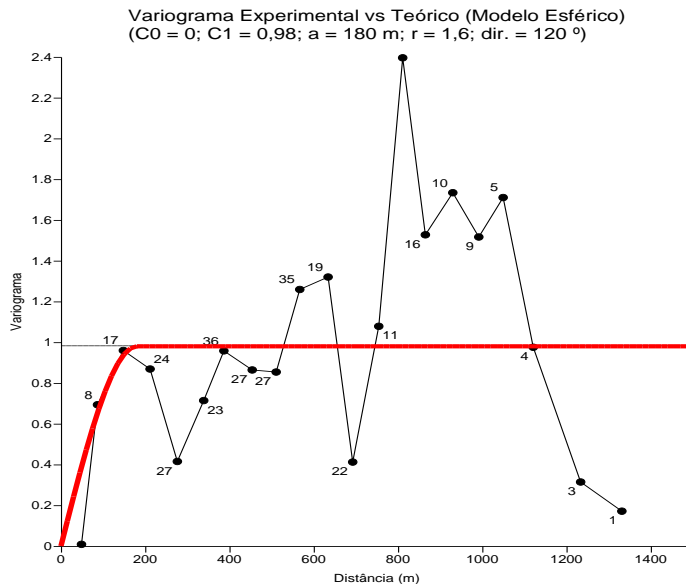


Figura 58: Variograma experimental e ajuste do modelo teórico referente à 2ª campanha de amostragem.

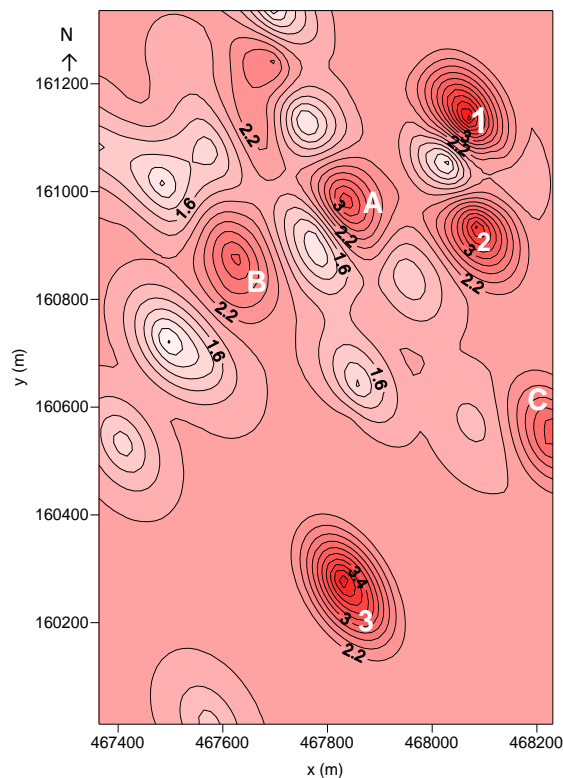


Figura 59: Fluxo de deposição referente à 2ª campanha de amostragem.

Pela observação da figura anterior é possível verificar que existem três locais onde a deposição de partículas é mais elevada, identificadas com os números 1, 2 e 3:

- O ponto 1 encontra-se localizado no local de amostragem identificado com o número 24, que se encontra na Escola Superior de Educação do Instituto Politécnico do Porto, num espaço verde situado entre os edifícios da faculdade. O fluxo de deposição mais elevado pode ser atribuído à existência de uma zona de fumadores, perto do local de amostragem.
- O ponto 2 localiza-se no Hospital de São João, perto do edifício de Ginecologia/Obstetrícia, o local número 28. Este valor do fluxo de deposição pode ser atribuído ao tráfego rodoviário constante na zona;
- O ponto 3 corresponde a dois locais de amostragem no Instituto Superior de Engenharia do Porto: o número 32 e número 33. O número 32 corresponde à entrada e o 33 aos edifícios centrais. Este valor mais elevado pode justificar-se à poluição urbana, devido à existência de tráfego rodoviário nestes locais e também por serem zona de fumadores.

Existem também 3 focos mais ligeiros, ainda assim identificáveis:

- A zona A corresponde ao local número 7, a cafeteria da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. O valor de deposição de partículas pode ser explicado pelo tráfego rodoviário, visto estar próximo do parque de estacionamento P1 (local número 6) e, também, pode ser atribuído à presença de chaminés existentes na cafeteria;

- A zona B aglomera o parque de estacionamento dos docentes da Faculdade de Economia da Universidade do Porto (número 10) e o Crematório de Paranhos (número 13). Ambos estão situados face à rua Dr. Roberto Frias, estrada de elevado tráfego rodoviário, que poderá ser a justificação para os valores elevados. Relativamente ao Crematório a elevada deposição de partículas poderá, também, ser explicada pela presença de chaminés de incineração;
- A zona C corresponde aos pontos de amostragem da Escola Superior de Enfermagem do Porto. Os valores elevados dos fluxos podem ser justificados pela direção do vento, que nesta campanha, se direcionam predominantemente para sul, onde se encontra a ESEP. Outra justificação que também se pode atribuir é, novamente, a poluição urbana que é originada pelo tráfego rodoviário e pela passagem do metro do porto, onde tem uma das suas estações na entrada da escola.

Tabela 27: Interpretação e identificação dos pontos/zonas da figura referentes à 2ª campanha

Pontos/Zonas da Figura	Pontos de Amostragem do Estudo	Origem/Causa do Fluxo de Deposição
1	24- ESE Edifícios	Zona de fumadores
2	28- HSJ Edifício de Ginecologia/Obstetria	Tráfego rodoviário
3	32- ISEP Entrada 33- ISEP Edifícios	Tráfego rodoviário Zona de fumadores
A	7- FEUP Cafeteria	Tráfego rodoviário Zona de fumadores
B	10- FEP Parque de estacionamento docentes 13- Crematório de Paranhos	Tráfego rodoviário Presença de chaminés de incineração
C	30- ESEP Entrada 31- ESEP Estacionamento	Tráfego rodoviário Direção do vento Passagem do metro

5.4.2. MODELOS DE DISPERSÃO ESPACIAL DO FLUXO DE DEPOSIÇÃO DAS PARTICULAS – 3ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

Os modelos de dispersão espacial do fluxo de deposição da 3ª campanha de amostragem das partículas apresentam-se nas figuras seguintes.

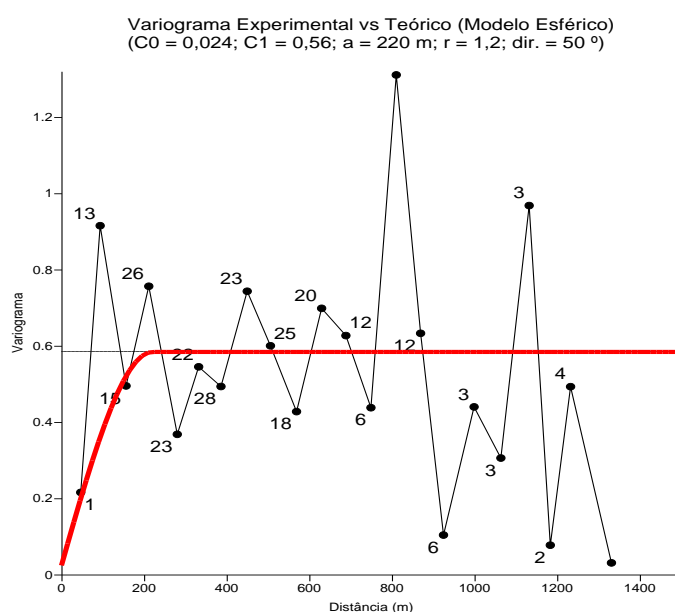


Figura 60: Variograma experimental e ajuste do modelo teórico referente à 3ª campanha de amostragem.

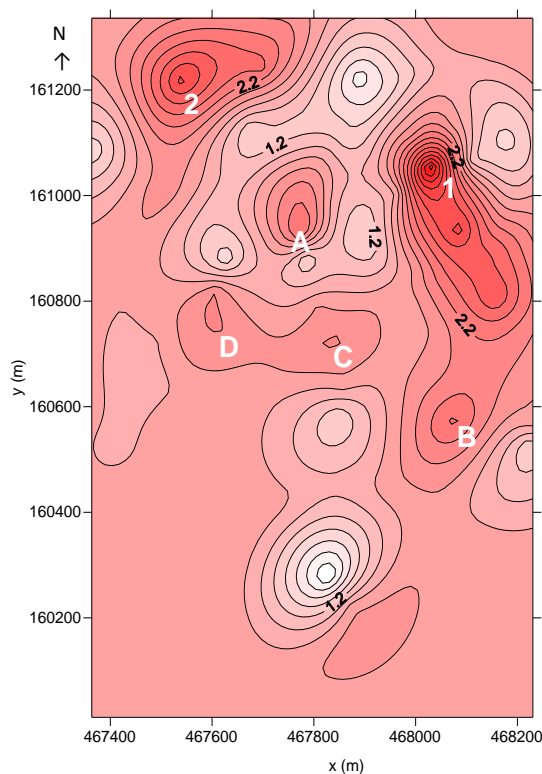


Figura 61: Fluxo de deposição referente à 3ª campanha de amostragem.

Relativamente à 3ª campanha, é possível observar que existem dois locais onde a deposição de partículas é mais elevada:

- O ponto 1 aglomera os locais de amostragem relativos ao parque de estacionamento da Escola Superior de Educação (número 23) e ao edifício de Ginecologia/Obstetrícia (número 28). O valor muito elevado do fluxo de deposição pode ser explicado pela exposição destes locais à emissão de partículas originada pelo tráfego rodoviário;
- O ponto 2 corresponde à cafetaria da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (número 7). O valor do fluxo de deposição pode ser explicado pela presença de chaminés das cozinhas da cafetaria e pela emissão de poluição provocada pelo tráfego rodoviário do parque de estacionamento P1 (local número 6).

Existem 4 focos mais ligeiros, ainda assim identificáveis nesta campanha:

- A zona A corresponde ao parque de estacionamento P1, local número 6. Além da poluição originada pelo tráfego rodoviário do parque de estacionamento, a placa de deposição está perto da rua Dr. Roberto Frias, que como foi explicado anteriormente, é uma estrada de tráfego muito intenso;
- A zona B localiza-se na Associação de Estudantes da Faculdade de Engenharia da Universidade do porto, ponto de amostragem número 5, que corresponde a uma zona de fumadores. As partículas do fumo do tabaco podem ser a justificação para o valor do fluxo de deposição alto;

- A zona C corresponde ao Crematório de Paranhos (local número 13) e a zona D ao parque de estacionamento da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto (local número 16). Como foi referido anteriormente, a placa localizada no crematório de Paranhos está exposta à emissão de partículas provenientes das chaminés de incineração e do tráfego rodoviário e a zona D está exposta ao tráfego rodoviário, proveniente do parque de estacionamento.

Tabela 28: Interpretação e identificação dos pontos/zonas da figura referente à 3ª campanha

Pontos/Zonas da Figura	Pontos de Amostragem do Estudo	Origem/Causa do Fluxo de Deposição
1	23- ESE Parque de estacionamento	Tráfego rodoviário
	28- HSJ Edifício de Ginecologia/Obstetrícia	
2	7- FEUP Cafetaria	Tráfego rodoviário
		Presença de chaminés
A	6- FEUP Parque de estacionamento P1	Tráfego rodoviário
B	5- FEUP Associação de estudantes	Zona de fumadores
C	13- Crematório de Paranhos	Tráfego rodoviário
		Presença de chaminés de incineração
D	16- FADEUP Parque de estacionamento	Tráfego rodoviário

5.4.3. MODELOS DE DISPERSÃO ESPACIAL DO FLUXO DE DEPOSIÇÃO DAS PARTICULAS – 4ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

Os modelos de dispersão espacial do fluxo de deposição da 4ª campanha de amostragem das partículas apresentam-se nas figuras seguintes.

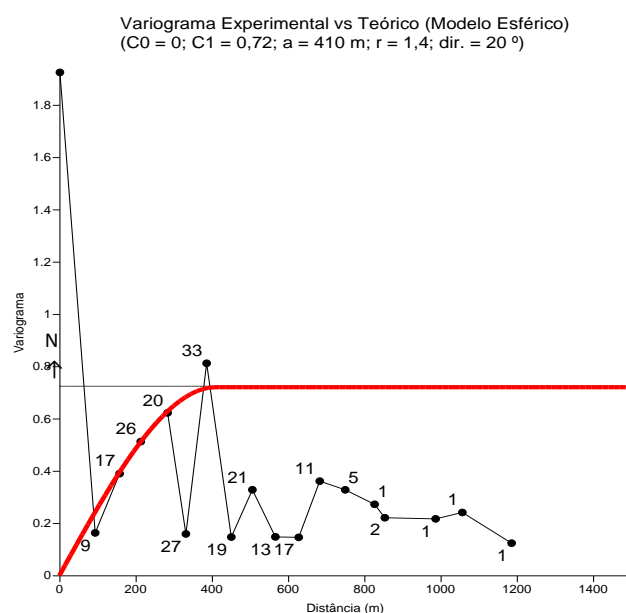


Figura 62: Variograma experimental e ajuste do modelo teórico referente à 4ª campanha de amostragem.

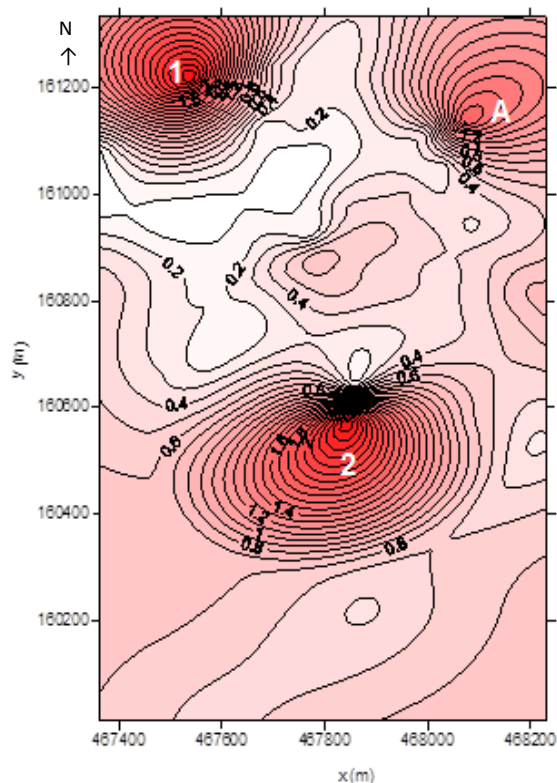


Figura 63: Fluxo de deposição referente à 4ª campanha de amostragem.

Na 4ª campanha foi possível detetar dois locais onde a deposição de partículas é facilmente distinguida das restantes, pela observação da figura 63:

- O ponto 1 corresponde, novamente, à cafeteria da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (número 7). Como foi referido anteriormente, o valor de deposição pode ser justificado pela exposição às chaminés das cozinhas da cafeteria e à emissão de poluição pelo tráfego rodoviário, pela aproximação ao parque de estacionamento P1;
- O ponto 2 corresponde ao ponto de amostragem número 18, ou seja, à entrada do edifício do IPATIMUP. O valor do fluxo de deposição pode ser fundamentado pela poluição originada pelo tráfego rodoviário do parque de estacionamento e, também, pela proximidade à rua Dr. Roberto Frias, que como foi explicado previamente, é uma estrada de tráfego muito intenso. Neste período, a direção do vento foi preferencialmente para sul coincidindo com a localização deste ponto de amostragem;

Existe 1 foco mais ligeiro na quarta campanha de amostragem, como demonstra a figura:

- A zona A corresponde ao relvado da Escola Superior de Educação, ponto de amostragem número 25. A placa de deposição situava-se num local caracterizado pela presença de chaminés da cantina da faculdade, o que poderá explicar o valor do fluxo de deposição.

Tabela 29: Interpretação e identificação dos pontos/zonas da figura referente à 4ª campanha.

Pontos/Zonas da Figura	Pontos de Amostragem do Estudo	Origem/Causa do Fluxo de Deposição
1	7- FEUP Cafeteria	Tráfego rodoviário Presença de chaminés
2	18- IPATIMUP Entrada	Tráfego rodoviário Direção do vento
A	25- ESE Relvado	Presença de chaminés

5.4.4. MODELOS DE DISPERSÃO ESPACIAL DO FLUXO DE DEPOSIÇÃO DAS PARTICULAS – 5ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

Os modelos de dispersão espacial do fluxo de deposição da 5ª campanha de amostragem das partículas apresentam-se nas figuras seguintes.

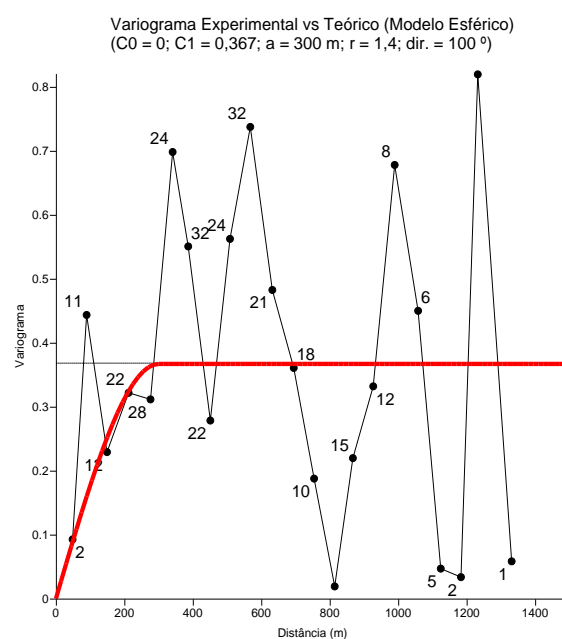


Figura 64: Variograma experimental e ajuste do modelo teórico referente à 5ª campanha de amostragem.

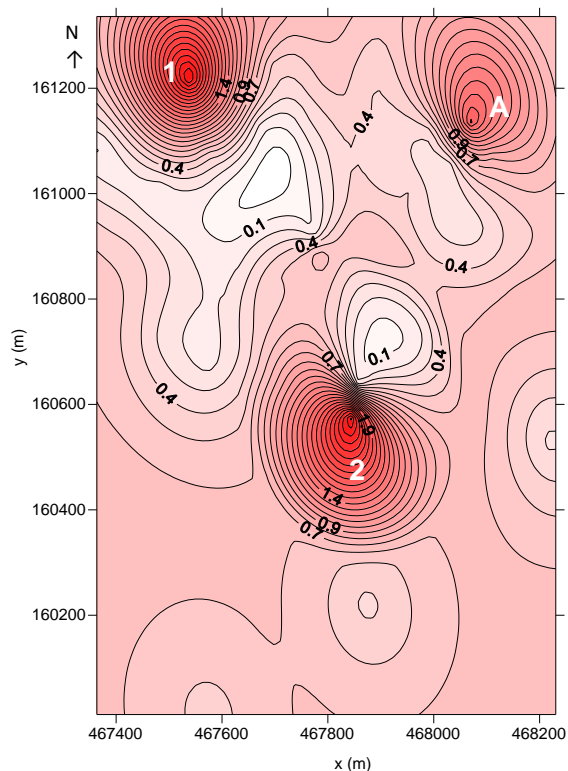


Figura 65: Fluxo de deposição referente à 5ª campanha de amostragem.

Observando a figura 65, na 5ª campanha foi possível detetar dois locais onde a deposição de partículas é distinguida das restantes pelos seus elevados valores:

- O ponto 1 corresponde, novamente, à cafeteria da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (número 7). Como foi referido antes, o valor de deposição pode ser justificado pela presença de chaminés das cozinhas da cafeteria e à emissão de poluição pelo tráfego rodoviário, pela aproximação a parque de estacionamento P1.
- O ponto 2 corresponde ao ponto de amostragem número 18, ou seja, à entrada do edifício do IPATIMUP. O valor de deposição pode ser justificado pela poluição urbana originada pelo tráfego rodoviário do parque de estacionamento e da proximidade do local à rua Dr. Roberto Frias. Os valores do fluxo de deposição também podem ser explicados pela direção do vento que se orientavam para sul, onde se encontrava o edifício do IPATIMUP.

Existe 1 foco mais ligeiro na quinta campanha de amostragem, como demonstra a figura:

- A zona A corresponde ao relvado da Escola Superior de Educação, ponto de amostragem número 25. A placa de deposição situava-se num local onde havia presença de chaminés que emitem partículas para a atmosfera, o que poderá explicar o valor do fluxo de deposição.

Tabela 30: Interpretação e identificação dos pontos/zonas da figura referente à 5ª campanha

Pontos/Zonas da Figura	Pontos de Amostragem do Estudo	Origem/Causa do Fluxo de Deposição
1	7- FEUP Cafeteria	Tráfego rodoviário Presença de chaminés
2	18- IPATIMUP Entrada	Tráfego rodoviário Direção do vento
A	25- ESE Relvado	Tráfego rodoviário Presença de chaminés

5.4.5. MODELOS DE DISPERSÃO ESPACIAL DO FLUXO DE DEPOSIÇÃO DAS PARTICULAS – 6ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

Os modelos de dispersão espacial do fluxo de deposição da 6ª campanha de amostragem das partículas apresentam-se nas figuras seguintes.

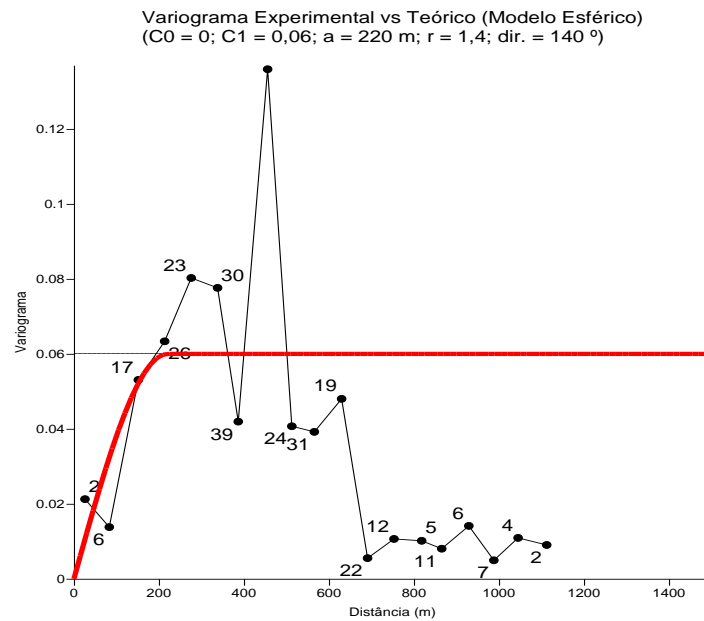


Figura 66: Variograma experimental e ajuste do modelo teórico referente à 6ª campanha de amostragem.

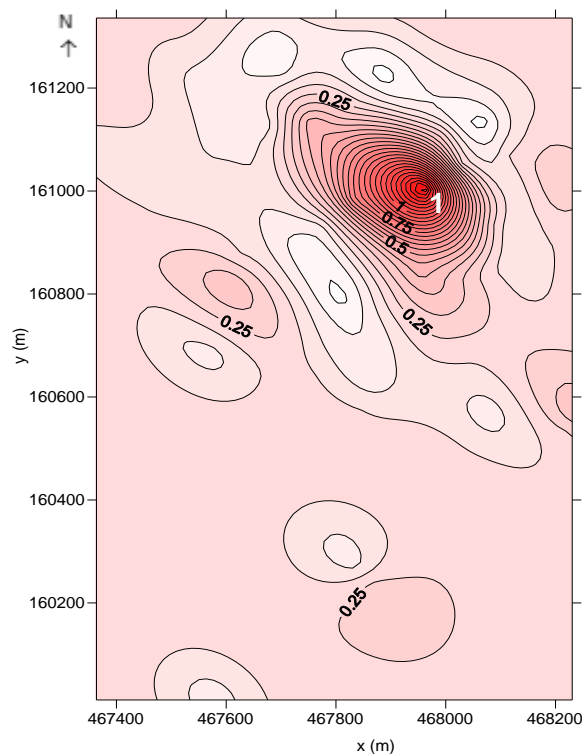


Figura 67: Fluxo de deposição referente à 6ª campanha de amostragem.

Na 6ª campanha de amostragem apenas foi possível detetar um local onde o valor do fluxo de deposição é muito elevado, relativamente aos restantes pontos:

O ponto 1 corresponde ao ponto de amostragem 23, que se localiza no parque de estacionamento da Escola Superior de Educação. Este local é caracterizado por ser uma zona com tráfego rodoviário intenso, o que pode justificar o elevado valor do fluxo. Relativamente às condições meteorológicas, a 5ª campanha teve vários períodos de precipitação intensa o que pode explicar os baixos valores registados nas restantes zonas.

Tabela 31: Interpretação e identificação dos pontos/zonas da figura referente à 6ª campanha

Pontos/Zonas da figura	Pontos de Amostragem do Estudo	Origem/Causa do Fluxo de Deposição
1	23 - ESE Parque de estacionamento	Tráfego Rodoviário

5.4.6. MODELOS DE DISPERSÃO ESPACIAL DO FLUXO DE DEPOSIÇÃO DAS PARTICULAS – 7ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

Os modelos de dispersão espacial do fluxo de deposição da 7ª campanha de amostragem das partículas apresentam-se nas figuras seguintes.

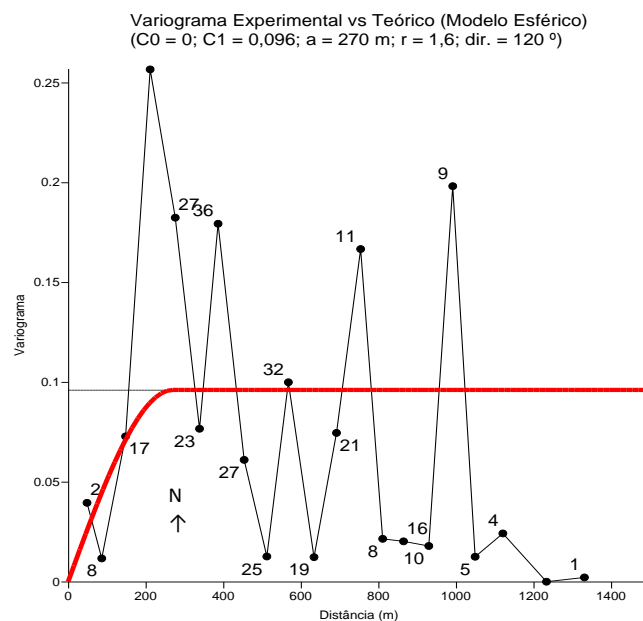


Figura 68: Variograma experimental e ajuste do modelo teórico referente à 7ª campanha de amostragem.

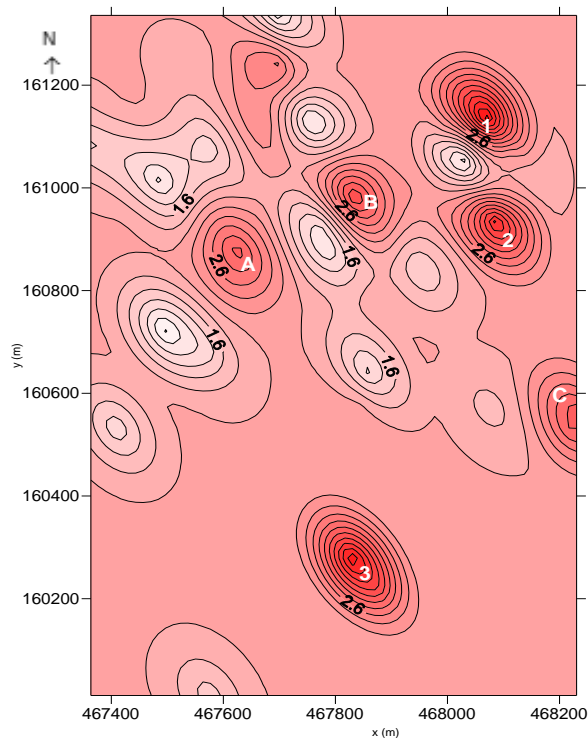


Figura 69: Fluxo de deposição referente à 7ª campanha de amostragem.

Na última campanha, é possível observar que existem 3 locais onde a deposição de partículas é mais elevada:

- O ponto 1 corresponde à zona do relvado da Escola Superior de Educação, local número 25. Como foi referido nas secções anteriores, esta zona é caracterizada pela presença de chaminés, o que pode justificar o valor elevado de fluxo de deposição nas placas;
- O ponto de 2 situa-se no hospital de São João, nos edifícios de Ginecologia/Obstetrícia, local número 28. Como foi referido nas outras campanhas, esta zona é muito exposta à poluição pelas partículas provenientes do tráfego rodoviário;
- O ponto 3 aglomera novamente os pontos 33 e 34, ou seja, a zona dos edifícios centrais e o parque de estacionamento do ISEP respetivamente. O local 33 é uma zona de fumadores e de tráfego rodoviário, enquanto o local 34 é apenas influenciado pelo tráfego rodoviário.

Existem também 3 focos mais ligeiros, ainda assim identificáveis:

- A zona A aglomera o parque de estacionamento dos docentes da Faculdade de Economia da Universidade do Porto (número 10) e o Crematório de Paranhos (número 13). Ambos estão situados face à rua Dr. Roberto Frias, estrada de elevado tráfego rodoviário, que poderá ser a justificação para valores. Relativamente ao Crematório a elevada deposição de partículas poderá ser explicada pela presença de chaminés de incineração;
- A zona B corresponde ao local número 7, à cafeteria da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. O valor de deposição de partículas pode ser explicado pelo tráfego rodoviário, visto estar próximo do parque de estacionamento dos docentes, e também pode ser atribuído à presença de chaminés pertencentes à cozinha da cafeteria;
- A zona C corresponde aos pontos de amostragem da Escola Superior de Enfermagem do Porto. Os valores elevados dos fluxos podem ser justificados pela direção do vento, que nesta campanha, direcionou-se predominantemente para sul, principalmente para SE onde se encontra a ESEP. Outra justificação que também se pode atribuir é novamente a poluição urbana, devido ao tráfego rodoviário e à passagem do metro do porto, que tem uma das suas estações na sua entrada.

Tabela 32: Interpretação e identificação dos pontos/zonas da figura referente à 7ª campanha.

Pontos/Zonas da Figura	Pontos de Amostragem do Estudo	Origem/Causa do Fluxo de Deposição
1	25- ESE Relvado	Presença de chaminés
2	28- HSJ Edifício de Ginecologia/Obstetrícia	Tráfego rodoviário
3	33- ISEP Edifícios	Tráfego rodoviário
	34- ISEP Parque de estacionamento	Zona de fumadores
A	10- FEP Parque de estacionamento alunos	Tráfego rodoviário
	13- Crematório de Paranhos	Presença de chaminés de incineração
B	7- FEUP Cafeteria	Tráfego rodoviário
		Presença de chaminés
C	30- ESEP Entrada	Tráfego rodoviário
	31- ESEP Estacionamento	Direção do vento Passagem do metro

Tabela 33: Frequência dos pontos de amostragem com fluxo de deposição elevado

Campanhas de amostragem	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	Frequência
Pontos de amostragem com fluxo de deposição mais elevado		5					1
		6					1
	7	7	7	7		7	5
	10					10	2
	13	13				13	3
		16					1
			18	18			2
		23			23		2
	24						1
			25	25		25	3
	28	28				28	3
	30					30	2
	31					31	2
	32						1
	33					33	2
						34	1

Ao observar a tabela 33, constata-se que o ponto de amostragem onde foi observado uma recorrente deposição elevada de partículas, corresponde ao número 7 que se refere à placa localizada na Cafeteria da FEUP. Este resultado pode ser justificado pelo tráfego rodoviário e pela presença de chaminés no local, como referido anteriormente.

Seguem-se os pontos de amostragem 13 (Crematório de Paranhos), 25 (ESE- Relvado) e o 28 (HSJ Edifício de Ginecologia/Obstetrícia). Estes valores elevados de fluxo podem dever-se à deposição de partículas emitidas pelo tráfego rodoviário e pela presença de chaminés.

Por último, uma menor frequência verifica-se nos pontos números: 10 (FEUP – Parque de estacionamento P1), 18 (IPATIMUP-entrada), 23 (ESE – Parque de estacionamento), 30 (ESEP – Entrada), 31 (ESEP – Parque de estacionamento) e 33 (ISEP – Edifícios). Estes valores podem ser justificados pelo tráfego rodoviário, direção do vento (direção predominante para sul), zona de fumadores e pela passagem do metro, como foi referido ao longo desta secção.

5.5. IDENTIFICAÇÃO ELEMENTAR POR MICROSCOPIA ELETRÓNICA DE VARRIMENTO

Os estudos de identificação elementar por microscopia eletrónica de varrimento foram realizados no Laboratório de Microscopia Eletrónica de Varrimento e Microanálise por Raios X da Unidade de Imagem, Microestrutura e Microanálise - IMICROS no CEMUP, como referido no capítulo anterior. O equipamento utilizado foi um Microscópio Eletrónico de Varrimento ambiental, de alta resolução (*Schottky*), com Microanálise por Raios X e Análise de Padrões de Difração de Elétrons Retro fundidos: FEG-ESEM/EDS/EBSD.

Foram realizadas 3 sessões, duas em novembro de 2015 e a última em dezembro de 2015. Nas primeiras duas sessões foram analisadas 33 amostras da 2ª campanha e na 3ª sessão foram analisadas 7 amostras da 3ª campanha. A seleção das campanhas foi determinada pela quantidade de partículas recolhidas, tendo sido nestas em que se obteve um maior fluxo médio de partículas (Tabela 34).

A metodologia adotada para a preparação das amostras a analisar consistiu na seleção da região de cada filtro, de cada amostra, com maior quantidade de partículas (figura 70). Esta

região do filtro foi recortada e colada com fita adesiva num suporte de cobre. Após colocar partes representativas de todas as amostras a analisar no suporte de cobre, este foi colocado no equipamento para se iniciar o processo de identificação elementar.

Tabela 34: Identificação das amostras analisadas no CEMUP

2ª CA	3ª CA	Local de Amostragem
1		FEUP Edifícios F/G
2		FEUP Biblioteca
3		FEUP Parque dos alunos
4	4	FEUP Cantina
5		FEUP AEFEUP
6	6	FEUP- Parque de estacionamento P1
7		FEUP-Cafeteria
8	8	FEUP INESC
9		FEUP Ciclovia
10		FEP Parque de estacionamento P3
11		FEP Parque de estacionamento alunos
13		Crematório de Paranhos
14	14	FADEUP Relvado
16		FADEUP Parque de estacionamento
17		FADEUP Campo de futebol
18		IPATIMUP Entrada
19		IPATIMUP Parque de estacionamento
20		IPATIMUP Relvado
21	21	ESE Campo de ténis
22		ESE Entrada
23		ESE Parque de estacionamento
24	24	ESE Edifícios
25		ESE Relvado
26		HSJ Entrada
27	27	HSJ Pediatria
28		HSJ Ginecologia/Obstetrícia
29		HSJ AEFMUP
30		ESEP Entrada
31		ESEP Parque de estacionamento
32		ISEP Entrada
33		ISEP Edifícios
34		ISEP Parque de estacionamento
35		FMDUP



Figura 70: Exemplo de uma parte da amostra selecionada para identificação elementar.

Através da identificação elementar por microscopia eletrônica de varrimento foram identificados os seguintes elementos químicos e minerais:

- **Cobre**

O cobre é um elemento químico de símbolo “Cu”, classificado como metal de transição. É um dos metais mais importantes a nível industrial e é caracterizado pela sua coloração vermelha e por ser dúctil e maleável.

Em ambiente urbano, é utilizado principalmente na indústria da eletricidade para cabos e fios, para construção de máquinas, indústria de instrumentos, indústria gráfica (Schumann, 2001). Na construção civil também é utilizado na composição dos telhados, goteiras e caixilhos de janelas. As principais libertações artificiais de cobre provêm de centrais elétricas a carvão, da produção de metais, da incineração de resíduos, dos processos de tratamento de esgoto e da aplicação de produtos químicos agrícolas. Também é encontrado no fumo do cigarro (SEPA, 2017).

As amostras onde foram identificadas partículas de cobre referem-se aos seguintes locais de amostragem: 23- ESE estacionamento, 24- ESE traseiras, 25- ESE relvado, 27- HSI Pediatria.

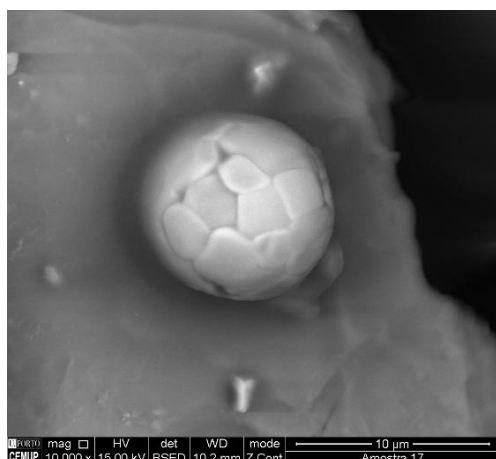


Figura 71: Partícula de cobre na amostra 24.

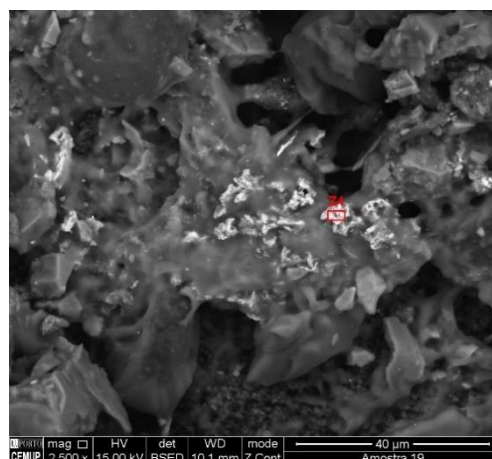


Figura 72: Partícula de cobre na amostra 23.

- **Titânio**

O titânio é um elemento químico de símbolo “Ti” e trata-se de um metal de transição leve, forte, cor branca metálica, lustroso e resistente à corrosão.

Na maior parte dos casos utiliza-se na forma de ligas com outros metais como o alumínio, ferro, manganês, crômio, molibdênio e vanádio. Estas aplicações consomem 90% da produção total de titânio, o restante destina-se à construção de equipamento para a indústria química (bombas, permutadores de calor, etc.).

O composto de titânio mais importante, sob o ponto de vista industrial, é o dióxido de titânio que encontra largo uso como pigmento no fabrico de tintas, lacas, esmaltes, papel, borracha, têxteis, plásticos, cerâmicas e cosméticos (Nautilus, 2017).

As amostras onde foram identificadas partículas de titânio referem-se aos seguintes locais de amostragem: 1- FEUP Edifícios F/G, 5- FEUP AEFEUP, 7- FEUP cafeteria, 17- FADEUP

campo de futebol, 21- ESE campo de ténis, 25- ESE relvado, 26- HSJ entrada, 27- HSJ Pediatria e 34- ISEP estacionamento.

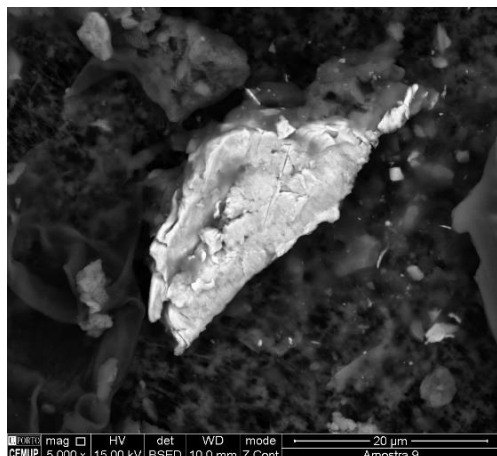


Figura 73: Partícula de titânio na amostra 21.

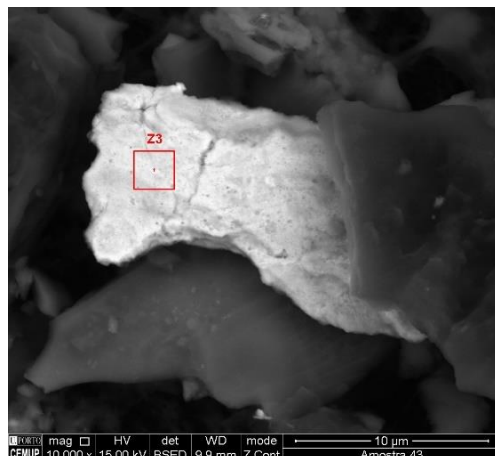


Figura 74: Partícula de titânio na amostra 5.

- **Silício**

O silício é um elemento químico de símbolo Si. O silício é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, perfazendo mais de 28 % de sua massa. Aparece na argila, feldspato, granito, quartzo e areia, normalmente na forma de dióxido de silício (também conhecido como sílica) e silicatos (compostos contendo silício, oxigénio e metais).

O silício é o principal componente do vidro, cimento, cerâmica e dos silicones. A maior parte dos materiais de construção empregam minerais que contém silício na sua composição. A areia, composta principalmente de sílica, é usada como componente em materiais de argamassa e colagem, e particularmente, no fabrico de betão (Branco, 2008).

As amostras onde foram identificadas partículas de silício referem-se aos seguintes locais de amostragem: 17- FADEUP Campo de Futebol, 25- ESE relvado e 27- HSJ pediatria.

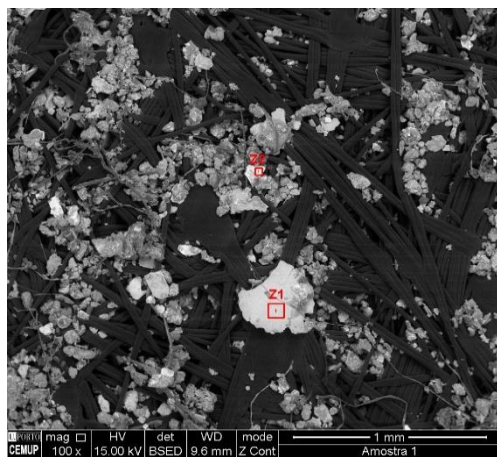


Figura 75: Partícula de silício na amostra 25 (Z1).

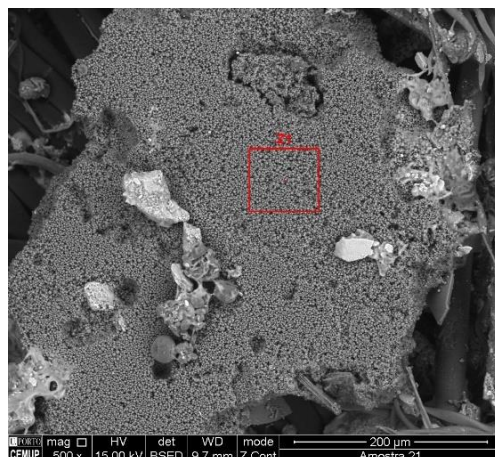


Figura 76: Partícula de silício na amostra 17.

- **Aço inoxidável**

O aço inoxidável é uma liga de ferro com um mínimo de 10,5 % de crómio. O crómio produz uma camada fina de óxido na superfície do aço, denominada de “camada passiva”. Esta camada previne a corrosão da superfície. Quanto maior a quantidade de crómio maior será a

resistência à corrosão. O aço inoxidável pode também conter metais, como o níquel, molibdênio, titânio e o cobre, e não-metais, como o carbono e o azoto, que podem ser adicionados para incutir outras propriedades como reforçar a maleabilidade e aumentar a resistência à corrosão.

Pode ser utilizado nas mais diferentes aplicações: eletrodomésticos (grandes eletrodomésticos e pequenos utensílios domésticos), automóveis (produção de peças para veículos), construção (edifícios e mobiliários), na indústria alimentar, na indústria química, indústria petrolífera e, por último, no setor dos serviços (fachadas e placas de sinalização) (BSSA, 2017).

Na 2ª campanha de amostragem, as amostras onde foram identificadas partículas de aço inoxidável referem-se aos seguintes locais de amostragem: 1- FEUP Edifícios F/G, 2- FEUP Biblioteca, 3- Parque de estacionamento P3, 4- FEUP cantina, 5- FEUP AEFEUP, 6- FEUP estacionamento, 7- FEUP cafeteria, 9- FEUP ciclovia, 10- FEP estacionamento docentes, 11- FEP parque estacionamento alunos, 13- Crematório, 14- FADEUP relvado, 16- FADEUP estacionamento, 18- IPATIMUP entrada, 19- IPATIMUP estacionamento, 20- IPATIMUP relvado, 21- ESE entrada, 23- ESE estacionamento, 24- ESE traseiras, 26 – HSJ entrada, 29- HSJ FMUP, 31- ESEP estacionamento, 34- ISEP estacionamento e 35- FMDUP.

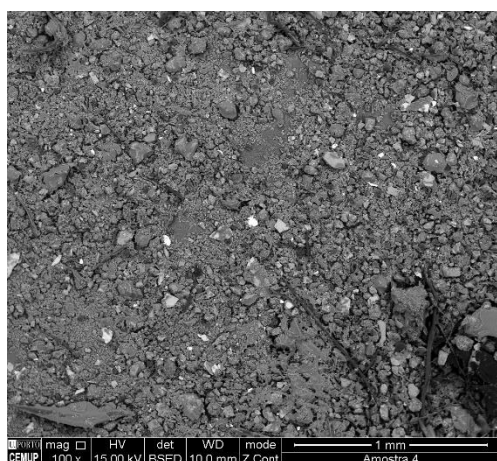


Figura 77: Amostra 32 com várias partículas de aço.

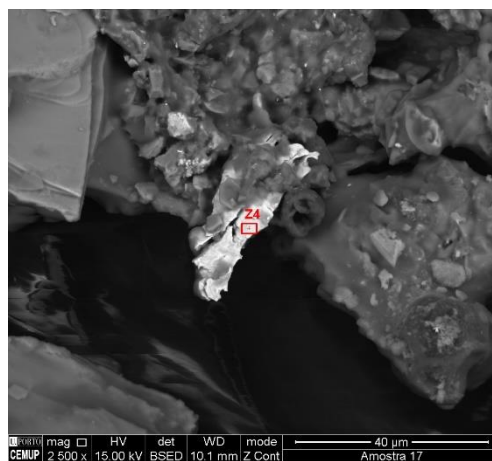


Figura 78: Partícula de aço na amostra 24.

Na 3ª campanha de amostragem, a amostra onde foram identificadas partículas de aço inoxidável refere-se ao local de amostragem: 27- HSJ pediatria.

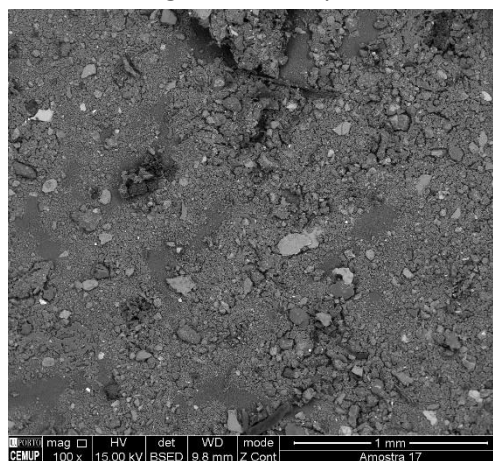


Figura 79: Partícula de aço na amostra 27.

- **Monazite**

A monazite é um mineral de fosfato raro com uma composição química (Ce, La, Nd, Th) (PO_4 , SiO_4). É um mineral radioativo, devido à presença do tório.

A monazite é utilizada como fonte primária de óxido de tório. O óxido de tório é utilizado na confecção de mantas incandescentes para lâmpadas de gás. O tório é um elemento radioativo que está a ser estudado para ser utilizado como fonte de energia atômica. Em geologia, a monazite é utilizada para datações radiométricas (Schumann, 2001).

Na 2ª campanha de amostragem, as amostras onde foram identificadas partículas de monazite referem-se aos seguintes locais de amostragem: 2-FEUP biblioteca, 4-FEUP cantina, 9FEUP ciclovias, 14-FADEUP relvado, 16-FADEUP estacionamento, 18-IPATIMUP entrada, 21-ESE Campo de Ténis, 24-ESE-Traseiras, 26-Hospital São João-Entrada, 27-Hospital São João-Pediatria, 33-ISEP-Edifícios.

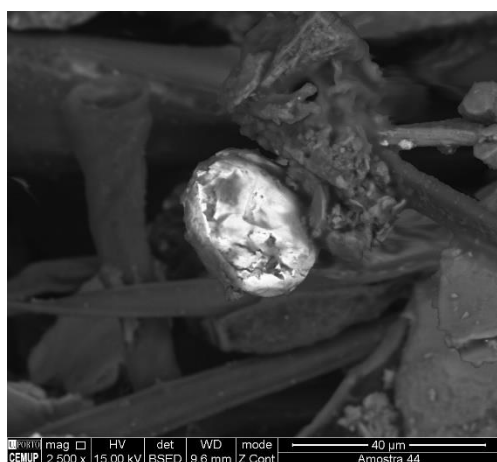


Figura 80: Monazite na amostra 4 na 2ª campanha.

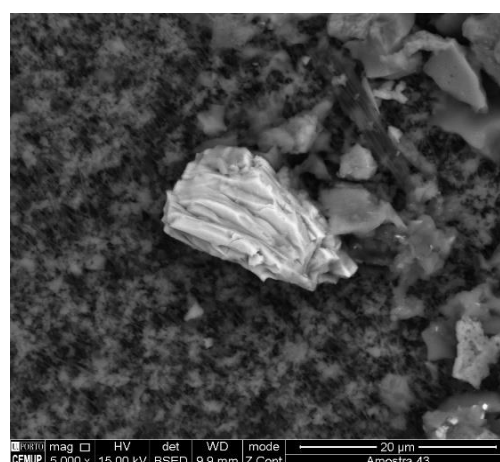


Figura 81: Monazite na amostra 5 na 2ª campanha.

Na 3ª campanha, as amostras onde foram identificadas partículas de monazite referem-se aos seguintes locais de amostragem: 4-FEUP cantina, 6-FEUP estacionamento, 8-FEUP INESC, 14-FADEUP relvado, 24-ESE traseiras e 27-HSJ pediatria.

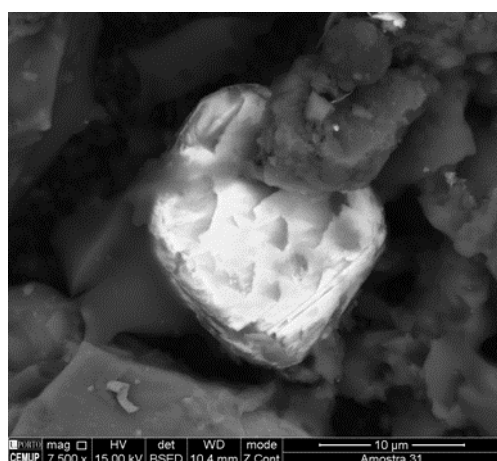


Figura 82: Monazite na amostra 24 na 3ª campanha.

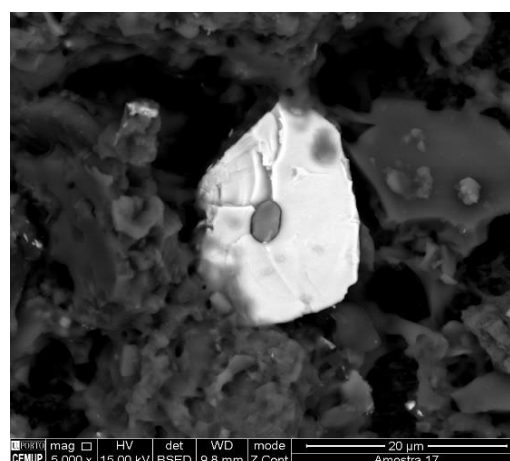


Figura 83: Monazite na amostra 27 na 3ª campanha.

- **Carbonato de Cálcio**

O carbonato de cálcio é uma substância química de fórmula CaCO_3 . É o principal componente de rochas como os calcários. Apresenta-se em cristais incolores, como na calcite, possuindo a propriedade da birrefringência, ou ainda numa segunda forma cristalina, a aragonite. É o principal constituinte das pérolas e conchas marinhas e encontra-se nas formações das cavernas calcárias. Por aquecimento dá a cal viva que reage com a água formando a cal apagada; esta, misturada com água e areia, forma a argamassa (Nautilus, 2017).

A amostra onde foram identificadas partículas de carbonato de cálcio refere-se ao seguinte local de amostragem: 22-ESE entrada.

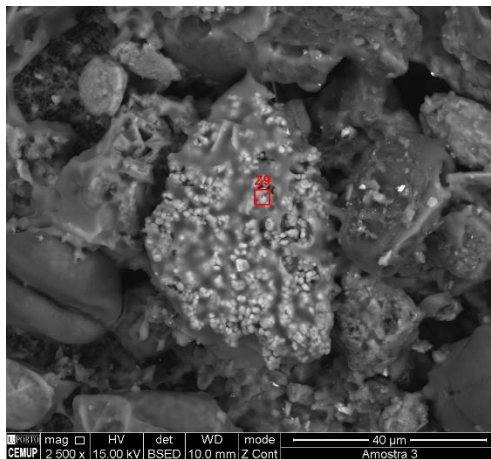


Figura 84: Partícula com carbonato de cálcio na amostra 22.

- **Pirite**

A pirite de ferro ou dissulfeto de ferro tem como fórmula química FeS_2 . A pirite é a matéria-prima sulfurosa mais importante, em especial para a preparação do ácido sulfúrico (Schumann, 2001). A amostra onde foram identificadas partículas de pirite refere-se ao seguinte local de amostragem: 7-FEUP cafeteria.

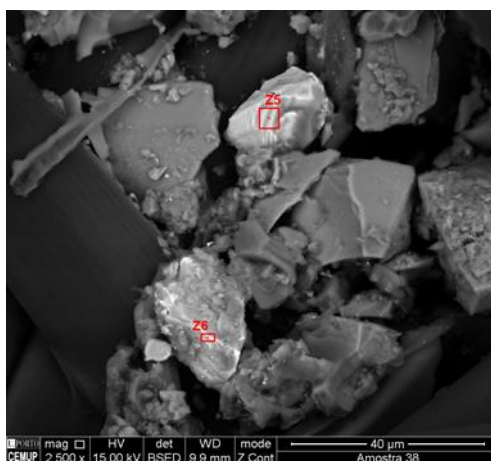


Figura 85: Pirite (Z6) na amostra 36.

- **Zircão**

Zircão é um mineral pertencente ao grupo dos nesossilicatos. Trata-se de um silicato de zircônio de fórmula química ZrSiO_4 .

É um importante mineral de zircônio. O zircônio é necessário para refinar aços, para fabrico de cerâmica refratária e recipientes resistentes aos ácidos, para a construção e funcionamento de reatores. Grãos do mineral zircão em rochas ígneas, metamórficas ou sedimentares são geralmente utilizados para datações radiométricas (Schumann, 2001).

As amostras onde foram identificadas partículas de zircão referem-se aos seguintes locais de amostragem: 2-FEUP biblioteca, 4-FEUP cantina, 5-FEUP AEFEUP, 8-FEUP INESC, 23-ESE estacionamento, 24-ESE traseiras, 26-HSJ entrada, 29-HSJ FMUP E 30-ESEP entrada.

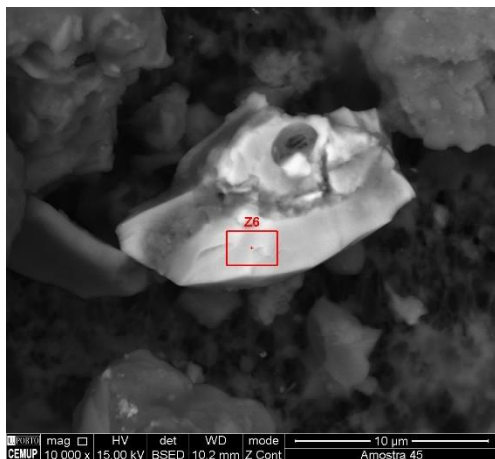


Figura 86: Zircão na amostra 2.

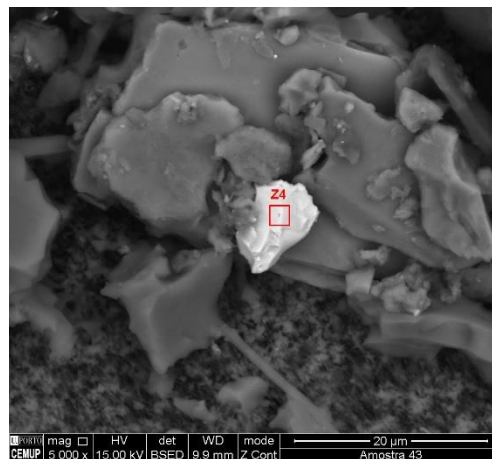


Figura 87: Zircão na amostra 5.

- **Quartzo**

O quartzo é um mineral de composição química SiO_2 , sílica, na proporção de 46,7% de Si e 53,3% de O. É um composto químico quase puro e tem propriedades constantes. O quartzo tem larga utilização como material de adorno, como fundente e como abrasivo entre outras aplicações. É também utilizado em aparelhos óticos e eletrónicos (Nautilus, 2017).

A amostra onde foram identificadas partículas de quartzo refere-se ao seguinte local de amostragem: 32-ISEP entrada.

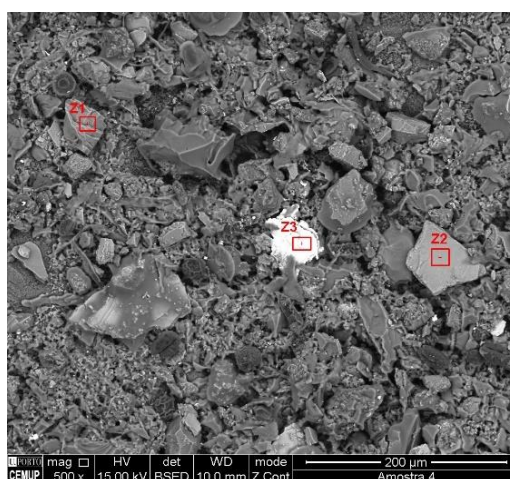


Figura 88: Partícula de quartzo na amostra 32 (Z2).

- **Sulfato de Estrôncio**

O sulfato de estrôncio, SrSO_4 , é um pó cristalino, branco e inodoro. É utilizado nas indústrias de cerâmica e de pirotecnia (Schumann, 2001).

A amostra onde foram identificadas partículas de sulfato de estrôncio refere-se ao seguinte local de amostragem: 9-FEUP ciclovía.

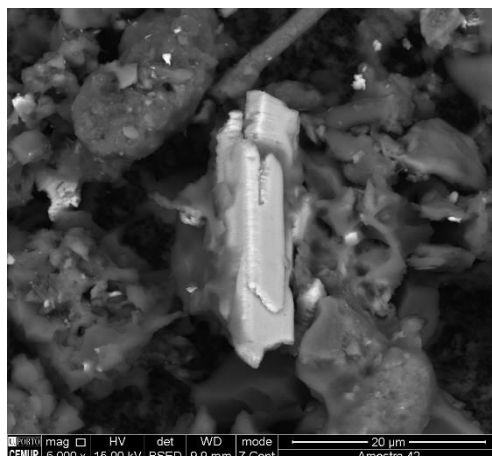


Figura 89: Sulfato de estrôncio na amostra 9.

- **Crômio**

O crômio é um elemento químico de símbolo “Cr” e é um metal de transição. Usa-se, por exemplo, na indústria de curtumes, no fabrico de corantes e na obtenção de pigmentos que se empregam na pintura contra a corrosão dos metais e cromagem (Schumann, 2001).

A amostra onde foram identificadas partículas de crômio refere-se ao seguinte local de amostragem: 28-HSJ Ginecologia/Obstetrícia.

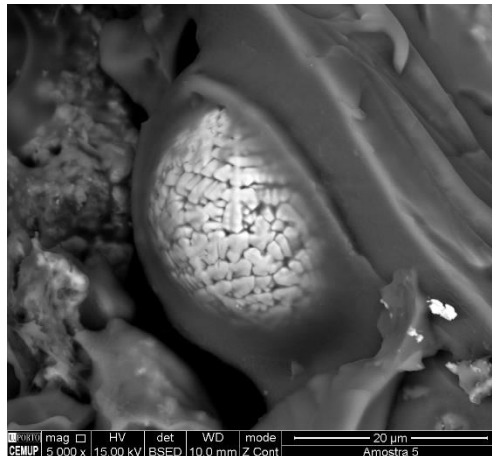


Figura 90: Partícula de crômio na amostra 28.

- **Estanho**

O estanho é um elemento químico de símbolo Sn. É um metal prateado, maleável, sólido nas condições ambientais, oxidando-se facilmente com o ar e resistente à corrosão. Como metal puro, o estanho é usado na construção de tubos e válvulas, no fabrico de recipientes para água destilada, cerveja e bebidas carbonatadas. Pode ainda ser usado, por exemplo, em tanques de armazenamento de soluções químicas farmacêuticas, em eletrodos de condensadores, fusíveis, munições, papel metalizado para envolver alimentos e tabaco. O pó de estanho é usado no fabrico de tintas e *sprays* (IST, 2017).

As amostras onde foram identificadas partículas de estanho referem-se aos seguintes locais de amostragem: 5-FEUP AEFEUP e 24-ESE traseiras.

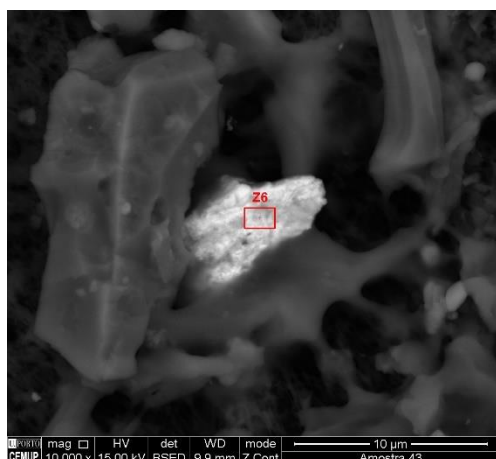


Figura 91: Partícula com estanho na amostra 5.

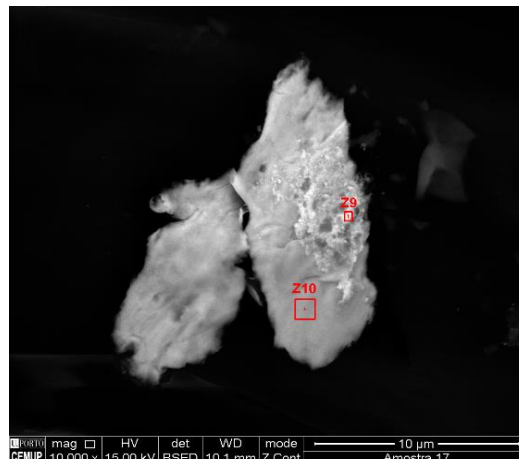


Figura 92: Partícula com estanho na amostra 24 (Z9).

- **Xenótimo**

O xenótimo é um mineral raro composto de fosfato de ítrio, com fórmula química YPO_4 . É bastante utilizado no fabrico de ligas, vidros óticos e cerâmica. Usa-se também em catalisadores especiais e em dispositivos optoelectrónicos como lasers, filtros de microondas e "fósforos" de európio para a cor vermelha na televisão a cores. Alguns dos seus isótopos radioativos são usados na radioterapia do cancro (Schumann, 2001).

As amostras onde foram identificadas partículas de xenótimo referem-se aos seguintes locais de amostragem: 1-FEUP edifícios F/G, 8-FEUP ciclovía, 11-FEP parque de estacionamento alunos e 30-ESEP traseiras.

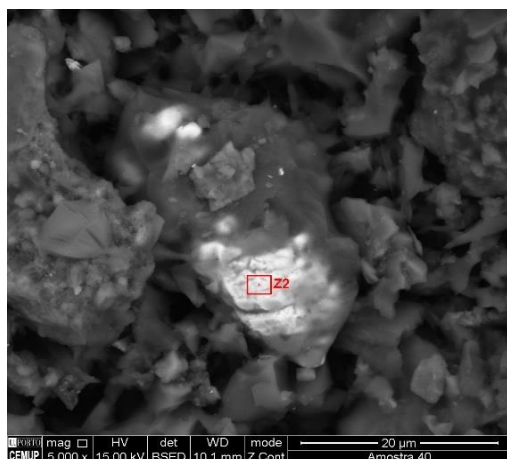


Figura 93: Partícula com fosfato de ítrio na amostra 11.

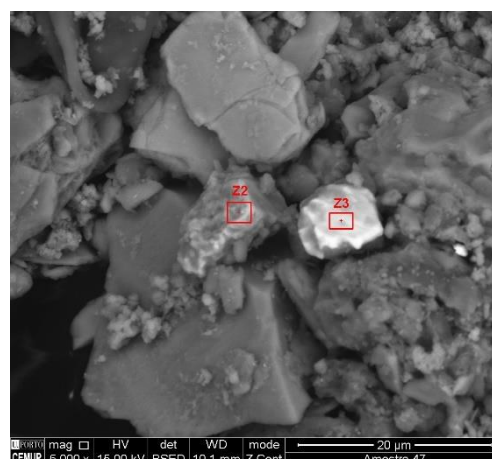


Figura 94: Partícula com fosfato de ítrio na amostra 1 (Z3).

- **Óxido de ferro (III)**

O óxido de ferro (III) ou óxido férrico, também conhecido como hematite, óxido de ferro vermelho, ou simplesmente ferrugem, é o composto químico de fórmula Fe_2O_3 . É um importante minério de ferro, com um conteúdo metálico de cerca de 65 %. Uma variedade compacta chamada "pedra de sangue" é lapidada para joias. A hematite pulverizada é utilizada para tinta e para polir (Schumann, 2001).

Na 2ª campanha de amostragem, as amostras onde foram identificadas partículas de óxido de ferro referem-se aos seguintes locais de amostragem: 3-FEUP-Parque de estacionamento P3, 4-FEUP-Cantina, 5-FEUP-Associação de Estudantes, 6-FEUP-Estacionamento, 7-FEUP-Cafeteria, 8-FEUP-INESC, 9-FEUP-Ciclovía, 10-FEP-Estacionamento, 11-FEP-Estacionamento Traseiras, 12-FEP-Associação de Estudantes, 13-Crematório, 14-FADEUP-Relvado, 15-FADEUP-Entrada, 16-FADEUP-Estacionamento, 17-FADEUP-Campo de Futebol, 18-IPATIMUP-Entrada, 19-IPATIMUP-Estacionamento, 20-IPATIMUP-Relvado, 21-ESE-Campo de Ténis, 22-ESE-Entrada, 23-ESE-Estacionamento, 24-ESE-Traseiras, 25-ESE-Relvado, 26-Hospital São João-Entrada, 27-Hospital São João-Pediatria, 28-Hospital São João-Ginecologia, 29-Hospital São João-FMUP, ESEP-Entrada, ESEP-Estacionamento e ISEP-Entrada.

Na 3ª campanha, a amostra onde foram identificadas partículas de óxido de ferro refere-se ao seguinte local de amostragem: 27-HSJ pediatria.

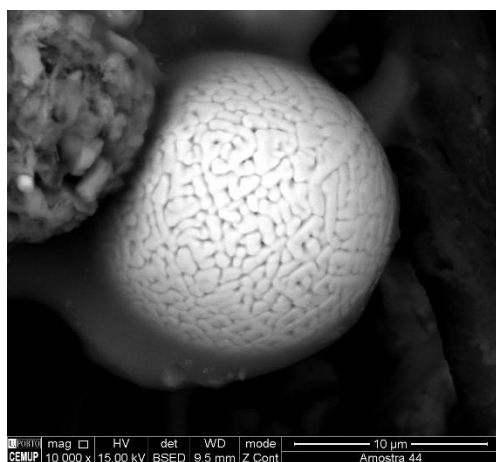


Figura 95: Óxido férrico na amostra 4.

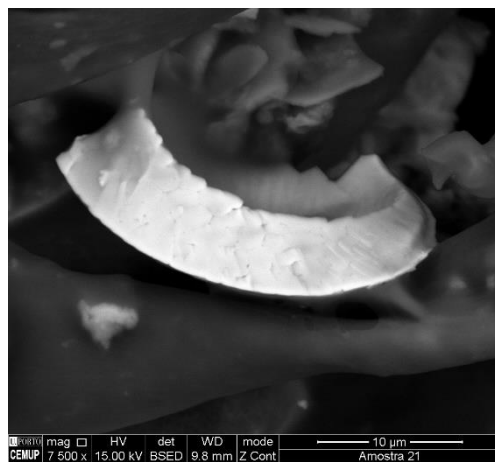


Figura 96: Óxido férrico na amostra 17.

- **Apatite**

A apatite é um mineral do grupo dos fosfatos, com as seguintes variantes: hidroxiapatite, fluorapatite e clorapatite. A sua fórmula geral (que apenas explicita a sua composição essencial) é $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$. É utilizada principalmente para fabrico de adubos químicos, mas também para detergentes e indústria química, para fabrico de fósforos e ácido fosfórico (Schumann, 2001).

A amostra onde foram identificadas partículas de apatite refere-se ao seguinte local de amostragem: 10-FEP estacionamento dos docentes.

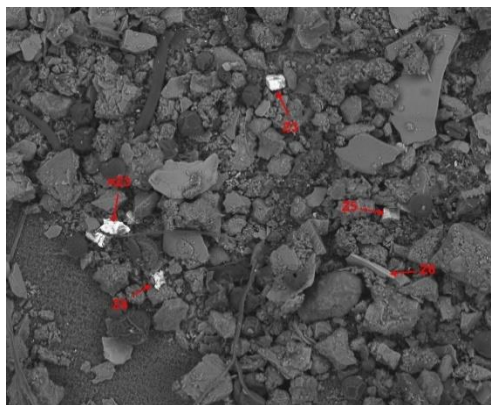


Figura 97: Apatite (Z6) na amostra 3.

- **Aluminosilicato**

Um aluminosilicato é um mineral que contém óxido de alumínio (Al_2O_3) e sílica (SiO_2). É utilizado, por exemplo, como matéria-prima no fabrico de cimento, vidro, cerâmica (Schumann, 2001).

As amostras onde foram identificadas partículas de aluminosilicatos referem-se aos seguintes locais de amostragem: 7-FEUP Cafeteria, 8-FEUP INESC, 9-FEUP ciclovía e 14-FADEUP relvado, 19-IPATIMUP estacionamento, 22-ESE entrada, 23-ESE estacionamento e 35-FMDUP.

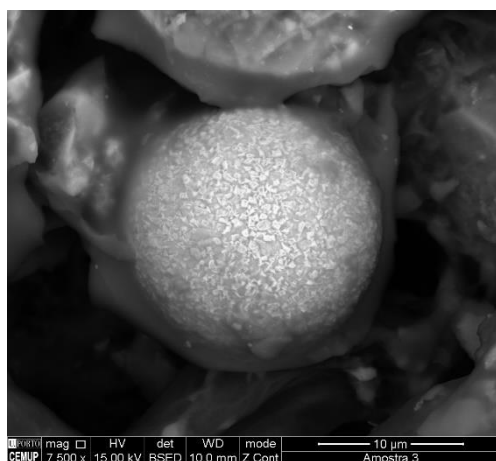


Figura 98: Aluminosilicato na amostra 22.



Figura 99: Aluminosilicato na amostra 35.

- **Biotite**

A biotite é um mineral comum da classe dos silicatos, subclasse dos filossilicatos, grupo das micas e subgrupo ferromagnesiano, que contém na sua composição potássio, magnésio, ferro e alumínio. A sua fórmula química é: $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{OH,F})_2(\text{Al,Fe})\text{Si}_3\text{O}_{10}$. A biotite tem um pequeno número de usos comerciais. É utilizada no fabrico de tintas, como um aditivo nas lammas de perfuração, no fabrico de produtos de borracha e como revestimento de superfície antiaderente em telhas de asfalto e telhados. Também é usado na datação radiométrica (Geology, 2017).

A amostra onde foram identificadas partículas de biotite refere-se ao seguinte local de amostragem: 8-FEUP-INESC.

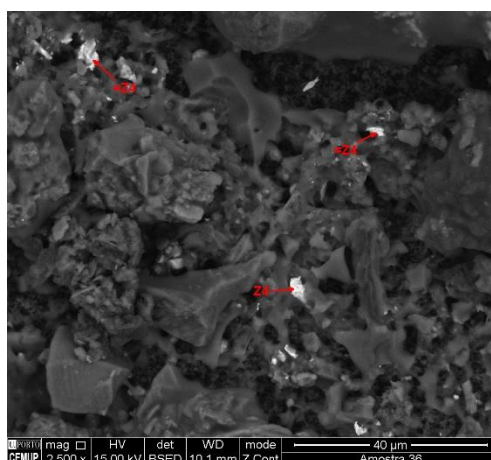


Figura 100: Biotite (Z1) na amostra 8.

- **Latão**

O latão é uma liga metálica de cobre e zinco. Outros metais podem ser adicionados, e variando a quantidade e a proporção dos mesmos, alteram-se as propriedades da liga. Ocasionalmente, podem adicionar-se pequenas quantidades de alumínio, estanho, chumbo e arsênio para potencializar algumas das características dessa ligação, dependendo de como e onde a liga será utilizada.

Utiliza-se latão no fabrico de tubos de condensadores, armas, cartuchos de munições, torneiras, núcleos de radiadores, instrumentos musicais de sopro, aparelhos médicos e cirúrgicos, ornamentações, jóias e bijuterias, terminais elétricos, moedas, parafusos, arames, válvulas, rodas para carro, entre outros (Nautilus, 2017).

As amostras onde foram identificadas partículas de latão referem-se aos seguintes locais de amostragem: 1-FEUP Edifícios F/G, 5-FEUP AEFEUP e 6-FEUP parque estacionamento docentes.

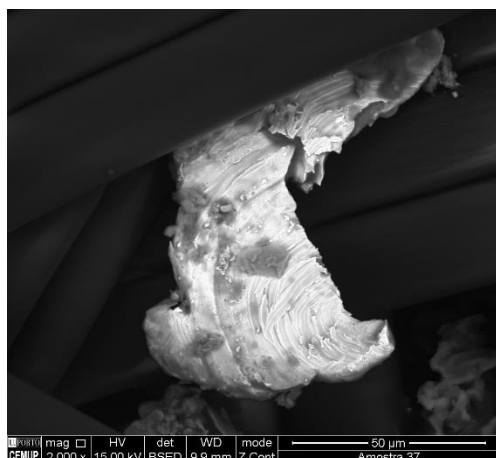


Figura 101: Partícula de latão na amostra 6.

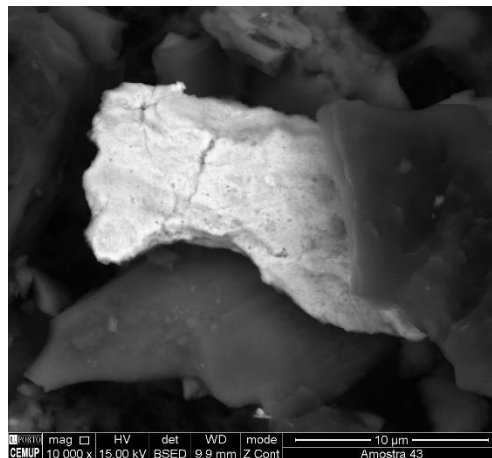


Figura 102: Partícula de latão na amostra 5.

- **Óxido de zinco**

O óxido de zinco é um composto químico de cor branca, com a fórmula de ZnO . É utilizado nas indústrias de cerâmica, borracha e no fabrico de tintas (Branco, 2008).

A amostra onde foram identificadas partículas de óxido de zinco refere-se ao seguinte local de amostragem: 31-ESEP estacionamento.

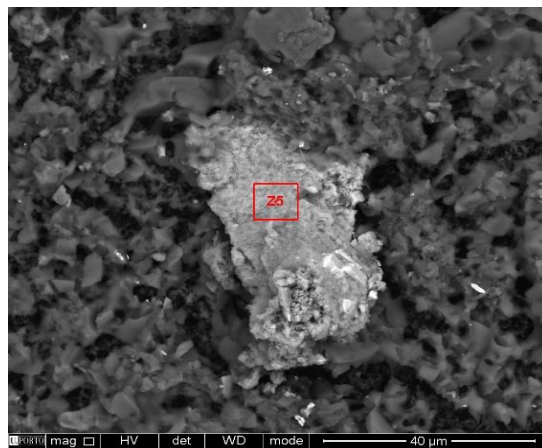


Figura 103: Partícula com óxido de zinco na amostra 31.

- **Pirolusite**

A pirolusite é um mineral composto por dióxido de manganês, MnO_2 . É o mais importante mineral de manganês (63% de manganês) e é usado, por exemplo, em baterias elétricas, vidros, fotografias e produtos químicos. Utiliza-se para obter o metal manganês, aplicado principalmente na produção do aço (Schumann, 2001).

A amostra onde foram identificadas partículas de pirolusite refere-se ao seguinte local de amostragem: 23- ESE estacionamento.

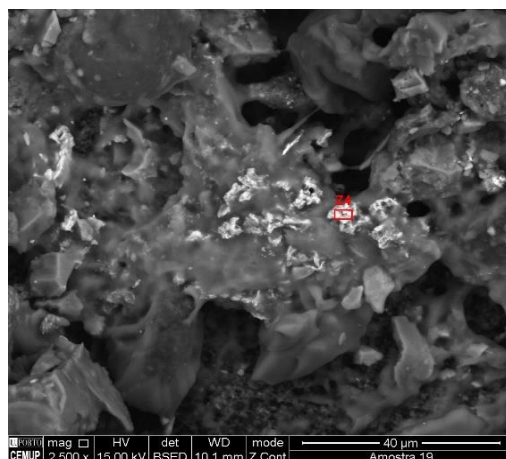


Figura 104: Partícula com pirolusite na amostra 24.

- **Sulfato de bário**

O sulfato de bário é um sólido cristalino branco, com a fórmula química $BaSO_4$. É utilizado nas indústrias siderúrgica, química, curtumes, do papel, da borracha, das tintas (branco fixo e litopone), dos plásticos, do vidro e na indústria do petróleo e gás natural (Schumann, 2001).

Na 2ª campanha de amostragem, as amostras onde foram identificadas partículas de sulfato de bário referem-se aos seguintes locais de amostragem: 1-FEUP Edifícios, 2-FEUP Biblioteca F/G, 3-FEUP parque de estacionamento P3, 5-FEUP AEFEUP, 7-FEUP Cafeteria, 10-FEP Parque de estacionamento docentes, 11-FEP Parque de estacionamento alunos, 14-FADEUP Relvado, 23-ESE Parque de estacionamento, 26-HSJ entrada, 29-HSJ FMUP e 34-ISEP Parque de estacionamento. Na 3ª campanha de amostragem, as amostras onde foram identificadas partículas de sulfato de bário referem-se aos seguintes locais de amostragem 14-FADEUP relvado e 21-ESE Campo de ténis.

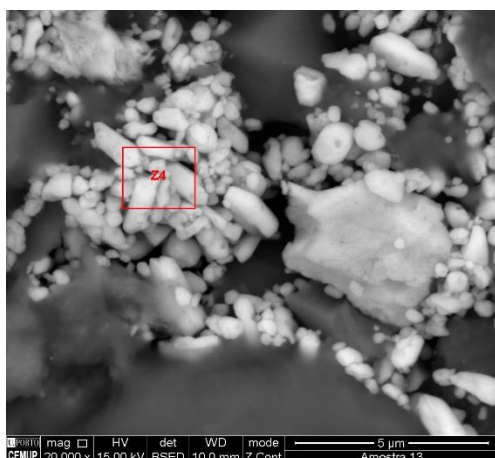


Figura 105: Sulfato de bário (Z4) na amostra 13 da 2ª campanha de amostragem.

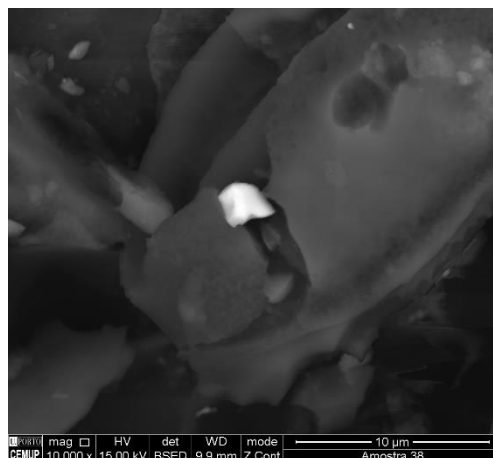


Figura 106: Partícula de sulfato de bário na amostra 7 da 2ª campanha.

Tabela 35: Resumo da análise das amostras identificadas por microscopia eletrônica de varrimento, segundo as campanhas de amostragem

Pontos de Amostragem		Aço inoxidável	Aluminossilicato	Apatite	Biotite	Carbonato Cálcio	Cobre	Crômio	Estanho	Latão	Monazite	Óxido de ferro	Óxido de zinco	Pirite	Pirolusite	Quartzo	Silício	Sulfato de bário	Sulfato de Estrôncio	Titânio	Xenótimio	Zircão
1	FEUP - Edifícios F/G	2								2								2		2	2	
2	FEUP - Biblioteca	2									2							2				2
3	FEUP - Parque dos alunos	2										2						2				
4	FEUP - Cantina	2									2 3	2										2
5	FEUP - AEFEUP	2							2			2						2		2		
6	FEUP- Parque de estacionamento P1	2								2	3	2										
7	FEUP - Cafeteria	2	2									2		2				2		2		
8	FEUP - INESC		2		2						3	2									2	
9	FEUP - Ciclovia	2	2								2	2							2			
10	FEP - Parque de estacionamento P3	2		2								2						2				
11	FEP - Parque de estacionamento alunos	2										2						2			2	
13	Crematório de Paranhos	2																				
14	FADEUP - Relvado	2	2								2 3	2		3				2 3				
16	FADEUP - Parque de estacionamento	2									2	2										
17	FADEUP - Campo de futebol											2					2			2		
18	IPATIMUP - Entrada	2									2	2										
19	IPATIMUP - Parque de estacionamento	2	2									2										
20	IPATIMUP - Relvado	2										2										
21	ESE - Campo de ténis	2									2	2						3		2		
22	ESE - Entrada	2				2						2										
23	ESE - Parque de estacionamento	2	2				2					2			2			2				2
24	ESE - Edifícios	2					2		2		2 3	2						2				
25	ESE - Relvado						2					2					2			2		
26	HSJ - Entrada	2									2	2						2		2		2
27	HSJ - Pediatria	2 3					2				2 3	2 3					2			2		
28	HSJ - Ginecologia/Obstetrícia											2										
29	HSJ - AEFMUP	2										2						2				2
30	ESEP - Entrada											2										2
31	ESEP - Parque de estacionamento	2										2	2									
32	ISEP - Entrada	2										2				2						
33	ISEP - Edifícios	2									2											
34	ISEP - Parque de estacionamento	2										2						2		2		
35	FMDUP	2	2																			

Como se pode observar na tabela 35, as amostras onde se repetiram os mesmos elementos nas duas campanhas são:

- Aço inoxidável: 27 – HSJ Edifício de Pediatria;
- Monazite: 4 – FEUP Cantina, 14 – FADEUP Relvado, 24 – ESE Edifícios e o 27 – HSJ Edifício de Pediatria;
- Sulfato de bário: 14 – FADEUP Relvado;
- Óxido de ferro (III): 27–HSJ Edifício de Pediatria.

Esta repetição dos elementos nas amostras pode levar a suspeitar de fontes emissoras contínuas ou permanentes existentes na área em estudo. No entanto, como não foi possível estender a análise elementar às restantes campanhas estes resultados, apesar de inconclusivos, podem ser encarados como indicadores da necessidade de proceder a um estudo qualitativo completo da matéria particulada depositada. Em particular, destaca-se a ocorrência da monazite, de carácter radioativo, em locais de grande afluência, nas duas campanhas e nos mesmos pontos de amostragem.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

As primeiras conclusões retiradas deste estudo são relativas às variáveis climatológicas, que podem ter influenciado o fluxo de deposição de partículas. As variáveis analisadas foram a temperatura média do ar, a precipitação média, assim como a velocidade e direção média do vento, nos períodos de duração de cada campanha de amostragem.

A temperatura média do ar registada na zona de Paranhos, onde se encontra o campus universitário da Asprela, registou valores diferentes ao longo do período de amostragem. Esta amplitude de temperaturas promoveu o transporte convectivo das partículas.

Durante o período em análise, na maioria dos dias, não houve registo de precipitação, exceto na 6ª e 7ª campanhas de amostragem que se podem considerar como muito chuvosas. Os meses secos favoreceram a suspensão de partículas na atmosfera.

A velocidade do vento foi, em média, de baixa intensidade e a direção foi predominantemente para sul. Esta direção do vento, para sul, pode ter promovido o transporte das partículas atmosféricas nesta direção, podendo justificar os valores elevados do fluxo de deposição nos pontos de amostragem que se encontravam a sul do local em estudo, como os pontos 30 e 31 colocados na ESEP e o ponto número 18 colocado no IPATIMUP.

Apesar dos valores obtidos para o fluxo de deposição da matéria particulada não poderem ser comparados com o Decreto-Lei em vigor, pois neste estudo utiliza-se uma metodologia diferente de recolha e tratamento de dados, foi possível fazer uma comparação entre os fluxos obtidos nas várias campanhas de amostragem realizadas.

As campanhas 2 e 3, que decorreram num período muito quente e seco, foram aquelas em que se obteve maior quantidade de partículas depositadas com valores de fluxo de deposição de 2,04 g/m²/mês e 1,72 g/m²/mês, respetivamente.

Relativamente à menor deposição de partículas, esta registou-se na 6ª e na 7ª campanha, com valores de fluxo de 0,23 g/m²/mês e 0,24 g/m²/mês, respetivamente. Estes valores podem ser justificados pela ocorrência de períodos de chuva contínua e intensa no decurso destas campanhas. Como a 6ª campanha foi das mais longas, tendo uma duração de 65 dias, as placas de deposição tiveram expostas durante mais tempo à lavagem das partículas por parte da precipitação além da perda de eficácia da resina, podendo justificar-se assim os baixos valores de fluxo neste período.

Após a construção dos mapas de contorno, verifica-se que o ponto de amostragem onde foi observado uma recorrente deposição elevada de partículas, corresponde ao número 7 que se refere à placa localizada na Cafeteria da FEUP. Este resultado pode ser justificado pelo tráfego rodoviário e pela presença de chaminés no local, como referido anteriormente. De seguida, os pontos de amostragem onde se verificou maior fluxo de deposição foram: 13 (Crematório de Paranhos), 25 (ESE-Relvado) e o 28 (HSJ-Edifício de Ginecologia/Obstetrícia). Estes valores elevados de fluxo podem dever-se à deposição de partículas emitidas pelo tráfego rodoviário e pela presença de chaminés. Por último, uma menor frequência verifica-se nos pontos números: 10 (FEUP-Parque de estacionamento P1), 18 (IPATIMUP-entrada), 23 (ESE-

Parque de estacionamento), 30 (ESEP-Entrada), 31 (ESEP-Parque de estacionamento) e 33 (ISEP-Edifícios). Estes valores podem ser justificados pela emissão de partículas provocada pelo tráfego rodoviário, pelo transporte das mesmas pela direção do vento (direção predominante para sul), pelas cinzas emitidas nas zonas de fumadores e pela re-suspensão de partículas provocada pela passagem do metro, como foi referido anteriormente.

Com a análise dos modelos de dispersão espacial foi possível concluir que não existe correlação espacial da variável em estudo no sentido longitudinal. Para existir uma correlação espacial seria necessário realizar uma amostragem com um maior número de pontos, para diminuir os efeitos de micro-regionalização, bem como aumentar a área de estudo, pois a área presente no trabalho é relativamente pequena.

Relativamente à microscopia eletrónica de varrimento efetuada para algumas das amostras apenas na 2ª e 3ª campanhas (onde se verificaram os valores mais elevados do fluxo de deposição), foi observada uma repetição de elementos nas partículas das amostras analisadas.

Constata-se que a existência de certos elementos em locais diferentes pode ser um indício da mesma fonte emissora. O cobre e o silício, encontrado, por exemplo, na placa colocada no edifício de pediatria do HSJ, podem ter origem nas obras que estavam a decorrer no local, visto que os mesmos são usados na construção civil. Daí ser importante analisar os mesmos pontos em campanhas diferentes, pois estas obras de construção não decorreram durante todas as campanhas de amostragem, pelo que o resultado da análise seria diferente, caso esta fosse a origem. O cobre encontrado na amostra do local 24 pode ter como origem o fumo do tabaco, pois neste local se situa uma zona de fumadores.

O dióxido de titânio, o óxido de zinco, o sulfato de bário, o estanho, a biotite e o óxido de ferro são utilizados como pigmentos no fabrico de tintas e por isso a presença destes compostos químicos nas amostras, pode ser justificado pelos resíduos de tinta dos locais (postes de eletricidade, colunas, tubos de queda de água) onde foram fixadas as placas de deposição.

O aço inoxidável e o aluminossilicato, foram os elementos mais frequentemente identificados na microscopia eletrónica de varrimento. Por ter aplicações nas mais diversas áreas, como constituinte dos mais diversos elementos, como por exemplo nos edifícios, nos automóveis, nos eletrodomésticos, nas fachadas, nas placas de sinalização, entre outras aplicações, é exetável que tenham sido encontrados em quase todas as amostras analisadas no CEMUP.

A monazite, mineral que corresponde a um fosfato e que é uma fonte de metais e terras raras, foi encontrado nas amostras localizadas no HSJ, FEUP, FADEUP e ESE, locais muito próximos entre si. Este mineral pode ter uma origem natural pois faz parte dos minerais acessórios do granito do Porto (por exemplo degradação de monumentos) além de ser comum em algumas areias mas que não ocorrem em Portugal (areias monazíticas). Este mineral pode ainda ter uma origem antropogénica como por exemplo no desgaste do pavimento de estradas. As fontes de partículas antropogénicas com monazite podem ser discriminadas com base nas suas características morfológicas e mineralógicas e também granulométricas.

O carbonato de cálcio foi encontrado na amostra proveniente da ESE entrada (número 22), e como foi referido anteriormente, é o constituinte principal da argamassa, muito utilizada na construção civil. Este ponto de amostragem é muito próximo ao ponto número 27, onde decorriam obras e por isso poderá haver uma ligação entre ambas.

O latão possui várias aplicações, como por exemplo na constituição dos automóveis. Esta liga metálica foi encontrada na FEUP, nos locais 1, 5 e 6, locais caracterizados pelo tráfego rodoviário devido à aproximação a parques de estacionamento e às estradas presentes na envolvente. Esta presença de partículas de latão pode ser justificada com o desgaste da estrutura dos veículos durante a sua passagem nestes locais.

Por fim, pode-se verificar a presença de partículas de titânio e silício nas amostras 17 - FADEUP campo de futebol, 25 - ESE relvado e 27 - HSJ Edifício de pediatria, elementos utilizados na indústria cerâmica, o que pode indicar a possibilidade de provirem da mesma fonte emissora. O mesmo verifica-se no local 23 - ESE parque de estacionamento, onde na 2ª campanha foram encontradas partículas de pirolusite, sulfato de bário e aluminossilicatos, elementos/minerais constituintes do vidro.

6.1. Perspetivas futuras

O estudo e identificação da deposição particulada em ambiente urbano é um dos principais desafios da qualidade do ar tendo como objetivo a proteção da população contra os efeitos da exposição a partículas de origem diversa e com granulometrias diversas também. Este desafio, que se tentou abraçar no presente trabalho focando o campus da Asprela e em particular a população académica, não fica concluído com o terminar desta dissertação. Pelo contrário, os resultados obtidos levantam muitas questões que devem ser aprofundadas em trabalhos futuros.

Em estudos futuros, importa realizar uma análise química qualitativa de um maior número de amostras de matéria particulada. Esta análise permitirá tirar ilações relativamente não só à constituição química das partículas, mas também relativamente ao seu tamanho permitindo quantificar as partículas de acordo com a classificação PM_{10} e $PM_{2,5}$, verificando assim, o cumprimento dos limites impostos pela legislação Portuguesa e Europeia. No presente trabalho, e como limitação da metodologia adotada, não foi possível realizar uma análise granulométrica das partículas recolhidas, pois a utilização da resina nas placas aglomera as partículas falseando o seu tamanho na análise granulométrica.

A composição química das partículas permitirá identificar os elementos presentes e que ocorram sistematicamente (em diferentes campanhas de amostragem), permitindo, assim, por um lado, analisar a perigosidade das partículas e por outro lado, associá-las a uma potencial fonte, em certos casos, e não a fontes pontuais diversas. A partir daqui seria possível tentar diminuir ou eliminar as emissões da ou das fontes identificadas. No presente estudo, a análise da constituição da partícula foi obtida por identificação elementar recorrendo à microscopia eletrónica de varrimento apenas para as 2ª e 3ª campanhas. Esta análise não foi possível estender às amostras das restantes campanhas de amostragem (140 amostras) devido quer ao horizonte temporal para o desenvolvimento deste trabalho, quer ao elevado custo envolvido neste tipo de análise. Ressaltava-se, no entanto, que este tipo de análise também não deve ser utilizado num número elevado de amostras, mas, neste caso, teria interesse em analisar os pontos selecionados da 2ª campanha nas restantes campanhas de amostragem.

Seria também importante expandir a área de estudo através da colocação de mais pontos de amostragem na direção longitudinal, direção esta considerada sem correlação espacial, bem como na direção preferencial do vento.

Relativamente ao estudo climatológico, seria importante colocar uma estação meteorológica de pequena dimensão na área em estudo, bem como analisar os registos climatológicos existentes para os últimos 10 anos e que não estão disponíveis de forma livre.

Por fim, com o objetivo de minimizar os efeitos adversos à saúde humana nos locais onde foi verificado fluxos de deposição elevados, poder-se-ia sugerir algumas medidas de mitigação. Após a identificação dos locais mais “problemáticos”, seria importante redirecionar a concentração de pessoas que frequentam esses pontos, como por exemplo colocar novas zonas de fumadores na área (evitando assim a emissão de fumo de tabaco num só ponto) ou, então, eliminar a emissão de fumo do tabaco no local, transformando-o numa zona de não fumadores.

Outra medida interessante que se poderia adotar seria a plantação de árvores nos locais. Estas impedem a suspensão das partículas atmosféricas nos locais, atuando como “filtros biológicos”. As folhas das árvores conseguem deter as partículas atmosféricas, retendo-as nas suas superfícies, tornando o local menos poluído.

A redução do tráfego rodoviário nos locais com maior deposição de partículas seria muito benéfico para o ambiente e para a população envolvente. A limitação do acesso de veículos nas áreas identificadas iria permitir a redução da poluição provocada pela emissão de partículas do tráfego rodoviário, uma das fontes mais frequentes em Portugal.

REFERÊNCIAS

- APA. Agência Portuguesa do Ambiente. Evolução da qualidade do ar em Portugal entre 2001 e 2005. Amadora. Agência Portuguesa do Ambiente. 2008. pp. 17-20.
- APA. Agência Portuguesa do Ambiente. Obtido de www.apambiente.pt. Acedido em outubro de 2016.
- Baukal, E. Particules. Baukal, E. *Industrial combustion pollution and control*. Nova Iorque. Marcel Dekker. 2003. pp. 403-409.
- Branco, P. Dicionário de Mineralogia e Gemologia. 1ª edição. São Paulo. Oficina de textos. 2014.
- BSSA. *British Stainless Steel Association*. Obtido de www.bssa.org.uk. Acedido em junho de 2017.
- Carvalho, J. Modelação e Tratamento Geoestatístico de dados spt e sísmicos. Porto. FEUP. 2002. pp. 2002.
- CCDRn. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte. Relatório de Análise Estatística dos Dados de Qualidade do Ar da Região Norte, em 2013. Porto. 2014.
- CENSOS. Censos -2011, Instituto Nacional de Estatística. Obtido de www.censos.ine.pt. Acedido em abril de 2017.
- CMP. Câmara Municipal do Porto. Relatório sobre o estado do ordenamento do território. Porto. Câmara Municipal do Porto. 2015. pp. 10-40
- CMP. Câmara Municipal do Porto. Obtido de www.cm-porto/pdm. Acedido em outubro de 2016.
- Colls J., Tiwary, A. Air pollutants: Pollution – Measurement, modelling and mitigation. 3ª edição. Oxon. Routledge. 2010. pp. 54-88.
- Colls, J. *Air Pollution*. 2ª edição. Oxon. Spon Press. 2002. pp. 38-78.
- Cressie, N., *The origins of kriging*. Cressie, N. Mathematical Geology. 3ª edição. Iowa. 1990.
- EEA. Agência europeia do Ambiente –2014. Obtido de www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/sector-contributions-of-emissions-of-2. Acedido em março de 2017.
- Ferraz, M. *Air Contamination*. Obtido de www.enmed.hu. Acedido em março de 2017.
- Folha, C. Qualificação urbana – Pólo da Aspela. Porto. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. 2016. pp. 44-10.
- Geology. Obtido de www.geology.com/minerals/biotite.shtml. Acedido em junho de 2017.
- Google Earth. Obtido de www.google.com/earth. Acedido em abril de 2017.
- Guimarães, P. Rede de monitorização ambiental em tempo-real com sistemas móveis. Porto. ISEP. 2009. pp. 44-76.
- Harrison, R., Yin, J. *Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are importante for its effects on health?*. Harrison, R., Yin, J. *The science of the total environment*. pp. 85-101. 2000.
- Henriques, A. Poluição do ar. Lisboa. Insituto Superior Técnico. 2012

IGeoE. IGeoE – Centro de Informação Geoespacial do Exército. Obtido de www.igeoe.pt. Acedido em março de 2015.

INE. Instituto Nacional de Estatística – 2011. Obtido de www.ine.pt. Acedido em março de 2016.

IPMA. Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Boletim Climatológico Mensal - 2015. Lisboa. IPMA. 2015.

Isaaks, E., Srivastava, R., *Applied Geostatistics*. Oxford. Oxford University Press. 1989.

IST. Instituto Superior Técnico – E-escola. Obtido de www.e-escola.tecnico.ulisboa.pt. Acedido de junho de 2017.

Landim P., Monteiro, R., Corsi, A. Introdução à confecção de mapas pelo *software* SURFER. Rio Claro. UNESP/campus de Rio Claro. 2002. pp. 1-20.

Leite, L., Rodriguez, J., Dourado, L., Soares, F., Almeida, S. Chuva e Chuva Ácida. Braga. Universidade do Minho. 2010.

Lourenço, P. Contributos para um modelo espacial de dispersão atmosférica de partículas na envolvente de um central térmica de carvão. Porto. FEUP. 2011. pp. 54-60.

Luís, A. Utilização de informação na estimação e simulação de variáveis regionalizadas. Lisboa. Instituto Superior Técnico. 2004. pp. 7-25.

Manahan, S. *The atmosphere and atmosphere chemistry*. Manahan, S. *Environmental Chemistry*. 7ª edição. Boca Raton. CRC Press LLC. 2000. pp.

Monego, M., Ramos, P., Neves, M. Análise geoestatística de uma descarga de águas residuais. Porto. 2007. pp. 164-167.

Monteiro, A. Revestimentos multicamada PVD com comportamento electrocrómico. Braga. Universidade do Minho. 2005.

Nautilus. Nautilus – Sociedade Portuguesa de Física (Delegação Regional Centro). Obtido de www.nautilus.fis.uc.pt. Acedido em maio de 2017.

NF X 43 – 007. *Détermination de la masse des retombées atmosphériques sèches*. Paris. Association Française de Normalisation. 2008. pp. 5-21.

Oliveira, A. Sistema de alerta na avaliação de risco de exposição à poluição causada por PM₁₀, na cidade de Lisboa. Lisboa. Instituto Superior Técnico. 2009. pp. 3-28.

Pereira, M. Poluentes. Pereira, M. Gestão e controlo de emissões gasosas. Porto. Feup. 2012. pp. 2-13.

Pereira, M. Poluição Atmosférica. Pereira, M. Gestão e controlo de emissões gasosas. Porto. FEUP. 2012. pp. 3-36.

QualAR. Qualidade do Ar – Agência Portuguesa do Ambiente. Obtido de www.qualar.apambiente.pt. Acedido em abril de 2016.

Schumann, W. Guia dos Minerais. 2ª edição. Lisboa. Editora Presença. 2001.

SEPA. *Scottish Environment Protection Agency*. Obtido de www.apps.sepa.org.uk. Acedido em junho de 2017.

Slezakova, K. *Suspended particles in outdoor and indoor air: Characterization to support epidemiological studies*. Porto. 2009. pp. 8-19.

Slezakova, K., Morais, S. Pereira, M. *Atmospheric nanoparticles and their impacts on public health*. Morales, A. *Current topics on public health*. Porto. FEUP. 2013.

SNIRH. Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. Obtido de www.snirh.apambiente.pt. Acedido em maio de 2017

Soares, A. *Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente*. 3ª edição. Lisboa. IST Press. 2014. pp. 25-59.

Spellman, F. Air. Spellman, F. *The science of environmental pollution*. 2ª edição. Boca Raton. CRC Press. 2010. pp. 87-102.

UP. Universidade do Porto. Obtido de www.sigarra.up.pt/pdm. Acedido em abril de 2017.

WRPLOT View. Obtido de www.weblakes.com/products/Wrplot/index.html. Acedido em maio de 2017.

ANEXOS

ANEXO I – DADOS E ESTATÍSTICOS EXPLORATÓRIOS DAS VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS – 1ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

Data	Direcção média do vento (°)	Precipitação (mm)	Velocidade média do vento (m/s)	Temperatura média (°C)
13/04/2015	215	0	0	19
14/04/2015	230	0	0	21
15/04/2015	212	0	0	15
16/04/2015	172	0,1	0	14
17/04/2015	149	0	0,1	13
18/04/2015	164	0,1	0,3	13
19/04/2015	217	0	0,8	12
20/04/2015	216	0	0,1	13
21/04/2015	212	0	0,1	13
22/04/2015	182	0	0,1	14
23/04/2015	221	0	0,2	14
24/04/2015	139	0	0	14
25/04/2015	144	0,1	0,7	16
26/04/2015	185	0	1,4	14
27/04/2015	198	0	0,2	14
28/04/2015	194	0	0,2	14
29/04/2015	178	0	0,1	13
30/04/2015	129	0	0	16
01/05/2015	153	0	0,7	16
02/05/2015	158	0	0,7	16
03/05/2015	143	0	0,7	15
04/05/2015	143	0,1	0,4	16
05/05/2015	209	0	1,7	14
06/05/2015	175	0	0,5	14
07/05/2015	155	0	0,2	16
08/05/2015	178	0	1	16
09/05/2015	227	0	0,5	16
10/05/2015	179	10,1	0,2	16
11/05/2015	213	0	0,1	17
12/05/2015	184	0	0	18
13/05/2015	210	0	0,1	17
14/05/2015	259	0,4	0,1	15
Média	186	0,3	0,4	15
Mediana	183	0,0	0,2	15
Desvio Padrão	32	1,8	0,4	2
Variância	1044	3,2	0,2	3
Máximo	259	10,1	1,7	21
Mínimo	129	0,0	0,0	12
Desvio Médio	27	0,6	0,3	1

ANEXO II – DADOS E ESTATÍSTICOS EXPLORATÓRIOS DAS VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS – 2ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

Data	Direcção média do vento (°)	Precipitação (mm)	Velocidade média do vento (m/s)	Temperatura média (°C)
11/05/2015	213	0	0,1	16
12/05/2015	184	0	0	15
13/05/2015	210	0	0,1	14
14/05/2015	259	0,4	0,1	16
15/05/2015	280	0	0,3	15
16/05/2015	220	0,1	0,1	19
17/05/2015	211	0	0	22
18/05/2015	212	0	0	17
19/05/2015	285	0	0,2	15
20/05/2015	240	0	0,3	14
21/05/2015	201	0	0,2	16
22/05/2015	212	0	0	17
23/05/2015	218	0	0	17
24/05/2015	235	0	0	20
25/05/2015	219	0	0,1	21
26/05/2015	218	0	0	20
27/05/2015	195	0	0	22
28/05/2015	229	0	0	22
29/05/2015	229	0	0	18
30/05/2015	196	0	0,2	15
31/05/2015	260	0	0,4	16
01/06/2015	222	0	0,1	16
02/06/2015	206	0	0,1	15
03/06/2015	216	0	0,1	16
04/06/2015	200	0	0	15
05/06/2015	213	0	0	17
06/06/2015	218	0	0	20
07/06/2015	218	0	0	22
08/06/2015	200	1,2	0	25
09/06/2015	218	0	0	22
10/06/2015	167	0	0,1	17
11/06/2015	203	0	0,2	16
12/06/2015	205	0	0,2	15
13/06/2015	150	1,3	0,1	14
14/06/2015	170	33,6	0,7	16
15/06/2015	216	0	0,4	17
16/06/2015	225	0	0,2	18
17/06/2015	221	0	0	21
Média	216	1,0	0,1	18
Mediana	216	0,0	0,1	17
Desvio Padrão	26	5,4	0,2	3
Variância	702	29,6	0,0	8
Máximo	285	33,6	0,7	25
Mínimo	150	0,0	0,0	14
Desvio Médio	18	1,7	0,1	2

ANEXO III – DADOS E ESTATÍSTICOS EXPLORATÓRIOS DAS VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS – 3ª
CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

Data	Direcção do vento média (°)	Precipitação diária (mm)	Velocidade do vento média diária (m/s)	Temperatura média (°C)
15/06/2015	216	0,00	0,4	17
16/06/2015	225	0,00	0,2	18
17/06/2015	221	0,00	0	21
18/06/2015	190	0,00	0	24
19/06/2015	180	0,00	0	25
20/06/2015	234	0,00	0	27
21/06/2015	220	0,00	0	25
22/06/2015	168	0,00	0,1	18
23/06/2015	192	0,00	0	18
24/06/2015	234	0,00	0,1	18
25/06/2015	182	0,00	0	17
26/06/2015	207	0,00	0	17
27/06/2015	221	0,00	0	19
28/06/2015	226	0,00	0	18
29/06/2015	228	0,00	0	18
30/06/2015	193	0,00	0	17
01/07/2015	196	0,00	0	19
02/07/2015	213	0,00	0,1	17
03/07/2015	201	0,00	0,1	19
04/07/2015	226	0,00	0,1	20
05/07/2015	190	0,00	0,1	18
06/07/2015	196	0,00	0,1	17
07/07/2015	195	0,00	0	18
08/07/2015	210	0,00	0,2	20
09/07/2015	192	0,00	0	20
10/07/2015	205	0,00	0,1	19
11/07/2015	229	0,00	0,1	17
12/07/2015	204	0,00	0,1	18
13/07/2015	173	0,00	0	17
14/07/2015	185	0,00	0	18
15/07/2015	190	0,00	0	18
16/07/2015	215	0,00	0,1	19
17/07/2015	191	0,00	0,1	20
18/07/2015	191	0,00	0,1	19
19/07/2015	220	0,00	0	20
20/07/2015	228	0,00	0	21
21/07/2015	213	0,00	0,2	20
22/07/2015	240	0,00	0,1	19
Média	206	0,0	0,1	19
Mediana	206	0,0	0,0	18
Desvio Padrão	19	0,0	0,1	2
Variância	348	0,0	0,0	6
Máximo	240	0,0	0,4	27
Mínimo	168	0,0	0,0	17
Desvio Médio	16	0,0	0,1	2

ANEXO IV – DADOS E ESTATÍSTICOS EXPLORATÓRIOS DAS VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS – 4ª
CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

Data	Direcção do vento média (°)	Precipitação diária (mm)	Velocidade do vento média diária (m/s)	Temperatura média (°C)
20/07/2015	228	0,0	0,0	21
21/07/2015	213	0,0	0,2	20
22/07/2015	240	0,0	0,1	19
23/07/2015	204	0,0	0,1	18
24/07/2015	190	1,4	0,1	19
25/07/2015	205	0,2	0,2	18
26/07/2015	220	0,3	0,0	19
27/07/2015	262	0,0	0,1	19
28/07/2015	248	0,0	0,2	20
29/07/2015	230	0,9	0,2	21
30/07/2015	181	1,4	0,0	21
31/07/2015	181	0,0	0,0	20
01/08/2015	208	0,0	0,1	19
02/08/2015	206	0,0	0,0	17
03/08/2015	215	0,0	0,0	19
04/08/2015	250	0,0	0,1	17
05/08/2015	222	0,0	0,0	18
06/08/2015	234	0,0	0,0	19
07/08/2015	224	0,0	0,2	18
08/08/2015	266	0,0	0,3	19
09/08/2015	234	0,0	0,0	24
10/08/2015	208	0,0	0,0	19
11/08/2015	169	0,0	0,0	17
12/08/2015	193	0,0	0,0	19
13/08/2015	238	0,0	0,7	17
14/08/2015	237	1,2	0,5	17
15/08/2015	213	0,0	0,1	17
16/08/2015	163	0,4	0,0	19
17/08/2015	212	0,3	0,0	19
18/08/2015	212	0,0	0,1	19
19/08/2015	241	0,0	0,1	20
20/08/2015	206	0,0	0,0	19
21/08/2015	216	0,0	0,0	18
22/08/2015	177	0,0	0,0	18
23/08/2015	164	0,2	0,2	17
24/08/2015	196	14,0	0,9	17
25/08/2015	223	0,2	0,3	18
26/08/2015	163	0,0	0,1	20
27/08/2015	149	3,5	0,3	21
28/08/2015	195	0,5	0,7	22
29/08/2015	232	0,1	0,0	20
30/08/2015	183	0,0	0,0	21
31/08/2015	218	0,0	0,0	20
01/09/2015	185	0,0	0,0	19
02/09/2015	166	0,0	0,0	18
03/09/2015	219	0,0	0,0	18
04/09/2015	223	0,0	0,0	17
05/09/2015	217	0,0	0,0	19
06/09/2015	201	0,0	0,0	19
07/09/2015	239	0,0	0,0	20
08/09/2015	237	0,0	0,0	17
09/09/2015	146	0,5	0,0	16
10/09/2015	209	0,3	0,0	16
11/09/2015	185	0,1	0,0	17
12/09/2015	244	0,0	0,0	17
13/09/2015	150	1,9	0,0	17
14/09/2015	183	9,2	0,4	16
15/09/2015	136	8,9	0,3	17
16/09/2015	185	96,3	3,2	17
17/09/2015	191	7,2	0,5	15
18/09/2015	203	0,1	0,0	15
19/09/2015	179	0,1	0,0	17
20/09/2015	188	0,0	0,0	18
21/09/2015	217	0,0	0,0	15
22/09/2015	226	0,0	0,0	16
23/09/2015	225	0,0	0,1	16
24/09/2015	192	0,1	0,0	17
25/09/2015	236	0,0	0,0	16
26/09/2015	220	0,0	0,0	15
27/09/2015	198	0,0	0,0	15
28/09/2015	227	0,0	0,0	18
29/09/2015	212	0,0	0,0	18
30/09/2015	152	0,0	0,0	16
01/10/2015	192	0,0	0,1	17
02/10/2015	212	0,0	0,0	15
03/10/2015	191	0,0	0,0	17
04/10/2015	147	6,2	0,4	19
05/10/2015	135	15,9	3,2	16
06/10/2015	194	4,8	1,3	15
07/10/2015	221	0,6	0,0	14
08/10/2015	228	0,1	0,0	16
09/10/2015	121	0,0	0,0	18
10/10/2015	167	0,0	0,0	18
11/10/2015	119	5,9	0,0	20
12/10/2015	217	7,1	0,0	18
Média	193	4,4	0,3	17
Mediana	196	0,0	0,0	17
Desvio Padrão	34	15,7	0,7	1
Variância	1178	248,0	0,6	2
Máximo	244	96,3	3,2	20
Mínimo	119	0,0	0,0	14
Desvio Médio	27	6,4	0,4	1

ANEXO V – DADOS E ESTATÍSTICOS EXPLORATÓRIOS DAS VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS – 5ª CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

Data	Direcção do vento média (°)	Precipitação diária (mm)	Velocidade do vento média diária (m/s)	Temperatura média (°C)
07/10/2015	221	0,6	0	15
08/10/2015	228	0,1	0	14
09/10/2015	121	0	0	16
10/10/2015	167	0	0	18
11/10/2015	119	5,9	0	18
12/10/2015	217	7,1	0	20
13/10/2015	200	0	0	18
14/10/2015	227	0	0	17
15/10/2015	177	0	0	17
16/10/2015	238	0	0	18
17/10/2015	121	0	0	20
18/10/2015	228	7,1	0,2	17
19/10/2015	209	5,4	0	18
20/10/2015	236	0	0	20
21/10/2015	125	0	2,1	16
22/10/2015	155	0	1,2	17
23/10/2015	177	0	1,4	18
24/10/2015	163	2,1	1,2	17
25/10/2015	168	0,1	0,4	17
26/10/2015	187	1,3	1,7	16
27/10/2015	236	18,8	1,7	14
28/10/2015	250	8,3	3,1	16
29/10/2015	217	49,2	4	17
30/10/2015	196	1,4	4	18
31/10/2015	194	2,2	3,4	16
01/11/2015	117	0	1,1	18
02/11/2015	169	0,1	1	17
03/11/2015	246	25,6	1,4	17
04/11/2015	211	9,9	2,8	16
05/11/2015	211	6,6	2,9	17
06/11/2015	206	0,9	3,5	19
07/11/2015	147	0	1,1	19
08/11/2015	167	0	1	18
09/11/2015	159	0,2	0,8	16
10/11/2015	159	0,4	0,5	15
11/11/2015	109	0,3	0,5	15
12/11/2015	172	0,3	0,6	14
13/11/2015	139	0,2	0,6	14
14/11/2015	164	0,2	0,6	15
15/11/2015	157	0,3	0,5	14
16/11/2015	156	0,2	0,5	13
17/11/2015	156	0,2	0,5	13
18/11/2015	132	0,1	1	15
19/11/2015	148	0	0,9	14
20/11/2015	155	0	0,7	14
Média	179	3,7	1,2	16
Mediana	168	0,2	1,0	17
Desvio Padrão	39	9,3	1,2	2
Variância	1483	86,7	1,4	4
Máximo	250	49,2	4,0	20
Mínimo	109	0,0	0,0	13
Desvio Médio	32	5,3	0,9	2

ANEXO VI – DADOS E ESTATÍSTICOS EXPLORATÓRIOS DAS VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS – 6ª
CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

Data	Direcção do vento média (°)	Precipitação diária (mm)	Velocidade do vento média diária (m/s)	Temperatura média (°C)
16/11/2015	156	0,2	0,5	13
17/11/2015	132	0,1	1,0	13
18/11/2015	148	0,0	0,9	15
19/11/2015	155	0,0	0,7	14
20/11/2015	168	0,3	0,5	14
21/11/2015	128	2,3	1,8	13
22/11/2015	122	3,9	1,6	9
23/11/2015	127	5,4	1,2	8
24/11/2015	118	0,1	0,8	9
25/11/2015	142	0,6	0,5	12
26/11/2015	98	0,1	1,3	12
27/11/2015	123	0,1	1,6	12
28/11/2015	108	0,0	1,7	11
29/11/2015	121	0,0	1,0	10
30/11/2015	118	0,2	0,0	10
01/12/2015	132	0,0	0,6	11
02/12/2015	176	0,4	1,9	14
03/12/2015	189	0,0	1,6	16
04/12/2015	153	0,0	1,9	13
05/12/2015	148	0,3	0,4	12
06/12/2015	165	0,1	0,7	12
07/12/2015	171	0,0	1,6	13
08/12/2015	172	23,8	2,2	13
09/12/2015	132	0,4	0,8	12
10/12/2015	161	0,0	1,0	11
11/12/2015	126	0,3	0,6	11
12/12/2015	145	0,0	1,5	11
13/12/2015	168	0,0	2,4	13
14/12/2015	200	16,8	4,0	16
15/12/2015	210	19,2	4,7	18
16/12/2015	167	1,6	3,3	17
17/12/2015	208	0,0	2,1	17
18/12/2015	202	9,6	4,0	17
19/12/2015	211	0,0	3,1	18
20/12/2015	221	18,5	3,8	13
21/12/2015	167	0,2	0,9	11
22/12/2015	169	0,0	2,1	11
23/12/2015	160	3,9	2,0	11
24/12/2015	203	10,3	2,1	13
25/12/2015	184	0,2	2,9	15
26/12/2015	166	0,0	1,3	13
27/12/2015	159	0,0	1,4	14
28/12/2015	233	8,4	3,8	14
29/12/2015	217	15,3	2,7	13
30/12/2015	240	0,0	4,0	14
31/12/2015	162	14,0	2,5	11
01/01/2016	242	0,4	2,2	13
02/01/2016	251	21,5	2,5	12
03/01/2016	238	11,5	3,2	14
04/01/2016	179	43,2	3,0	12
05/01/2016	168	26,0	2,3	9
06/01/2016	217	8,9	1,7	11
07/01/2016	249	4,3	4,0	16
08/01/2016	251	6,1	5,1	14
09/01/2016	236	7,5	2,0	13
10/01/2016	230	37,0	4,5	14
11/01/2016	269	20,6	4,0	13
12/01/2016	295	3,6	1,9	10
13/01/2016	149	0,0	1,0	12
14/01/2016	192	25,2	4,2	12
15/01/2016	168	0,0	2,1	9
16/01/2016	69	0,0	1,7	8
17/01/2016	129	0,0	1,6	9
18/01/2016	175	6,1	2,3	11
19/01/2016	227	0,2	1,3	10
Média	199	9,0	2,7	13
Mediana	202	5,2	2,5	13
Desvio Padrão	43	11,0	1,1	2
Variância	1889	120,9	1,2	6
Máximo	295	43,2	5,1	18
Mínimo	69	0,0	0,9	8
Desvio Médio	35	8,6	0,9	2

ANEXO VII – DADOS E ESTATÍSTICOS EXPLORATÓRIOS DAS VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS – 7ª
CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

Data	Direcção do vento média (°)	Precipitação diária (mm)	Velocidade do vento média diária (m/s)	Temperatura média (°C)
15/01/2016	168	0,0	2,1	9
16/01/2016	69	0,0	1,7	8
17/01/2016	129	0,0	1,6	9
18/01/2016	175	6,1	2,3	11
19/01/2016	227	0,2	1,3	10
20/01/2016	157	2,2	1,9	13
21/01/2016	195	2,1	2,1	14
22/01/2016	194	2,1	2,5	15
23/01/2016	211	0,7	1,5	16
24/01/2016	153	0,0	1,0	17
25/01/2016	190	0,2	3,3	14
26/01/2016	181	3,0	1,0	10
27/01/2016	158	0,0	1,0	12
28/01/2016	187	23,4	2,8	11
29/01/2016	147	0,1	1,7	9
30/01/2016	113	0,0	0,9	9
31/01/2016	196	1,4	1,0	13
01/02/2016	219	0,9	0,6	12
02/02/2016	92	0,1	0,6	10
03/02/2016	92	0,1	1,4	11
04/02/2016	76	0,0	1,5	11
05/02/2016	110	0,0	1,1	11
06/02/2016	146	0,0	1,1	11
07/02/2016	228	19,6	4,2	12
08/02/2016	273	1,4	2,4	14
09/02/2016	249	4,8	3,8	14
10/02/2016	277	10,2	3,2	14
11/02/2016	286	8,4	2,7	14
12/02/2016	303	14,5	3,1	14
13/02/2016	293	19,5	3,1	14
14/02/2016	297	19,5	3,7	10
15/02/2016	245	11,8	4,5	9
16/02/2016	94	0,0	2,3	7
17/02/2016	130	0,0	1,3	6
18/02/2016	151	18,8	1,2	7
19/02/2016	112	0,0	1,5	7
Média	181	4,8	2,0	11
Mediana	178	0,8	1,7	11
Desvio Padrão	67	7,3	1,0	3
Variância	4515	52,7	1,1	7
Máximo	303	23,4	4,5	17
Mínimo	69	0,0	0,6	6
Desvio Médio	55	5,8	0,9	2